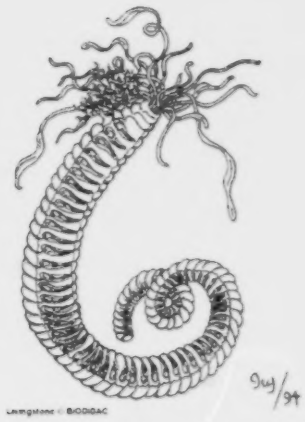
Suivi spatiotemporel de la communauté benthique au dépôt D des déblais de dragage du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec



JUIN 2004

Canada

Environnement Canada | Environment Canada

Page couverture : en haut, illustration d'un polychète sédentaire avec tentacules (gracieuseté de BIODIDAC, Université d'Ottawa); en bas, prélèvement de sédiments à l'aide d'une benne Van Veen au dépôt D, Îles-de-la-Madeleine, Québec (source : Environnement Canada 2001).

104-07396/

Suivi spatiotemporel de la communauté benthique au dépôt D des déblais de dragage du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec

ENVIRONNEMENT CANADA – RÉGION DU QUÉBEC
DIRECTION PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MONTRÉAL, QUÉBEC

Produit en collaboration par : Donald St-Laurent*, Bernadette Jacquaz†, Daniel Borcard** et Raymond Chabot*

* Environnement Canada – Région du Québec, Direction Protection de l'environnement, Montréal, Québec

† Laboratoires SAB inc., Longueuil, Québec

** Université de Montréal, Montréal, Québec

JUIN 2004

Canada

Environnement Canada Environment Canada

Cette publication devrait être citée comme suit :

St-Laurent, D., B. Jacquaz, D. Borcard et R. Chabot. 2004. Suivi spatiotemporel de la communauté benthique au dépôt D des déblais de dragage du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec. Rapport préparé en collaboration par Environnement Canada et Laboratoires SAB inc. pour la direction Protection de l'environnement, région du Québec, Environnement Canada, Montréal, QC. 34 pages et annexes.

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2004
N° de catalogue : En154-25/2004F
ISBN 0-662-77302-0

Résumé

Note: Please refer to the following section for the English version of this abstract.

Un suivi environnemental a été effectué au lieu d'immersion dépôt D, aux Îles-de-la-Madeleine, Québec, en vertu du programme Immersion en mer dans le but de s'assurer que les activités d'immersion de matières draguées n'entraînent pas d'effets négatifs inacceptables pour le milieu marin. Ce lieu d'immersion fut créé entre 1980 et 1982 lors du dragage initial du chenal de la Grande Entrée aux Îles-de-la-Madeleine. À cette époque, 584 784 m^3 y ont été immergés donnant ainsi naissance au monticule A (également appelé monticule de 1982). Le dépôt D, qui est situé à environ 6 km au large du port de Grande-Entrée, fut utilisé à deux reprises par la suite pour recevoir les sédiments issus des dragages d'entretien de 1992 (608 713 m^3 ; monticule B) et de 1997 (192 487 m^3 ; monticule C). La sélection du dépôt D comme objet d'un suivi environnemental a été motivée par le fait qu'un grand volume de sédiments y a été immergé à ce jour (i.e. quelques 1 390 000 m^3), et qu'il est situé dans une région importante en ce qui a trait aux habitats de poissons, mollusques et crustacés, dont celui du homard, ce qui demande un suivi plus approfondi afin de prévenir tout impact imprévu sur ces zones sensibles.

À court terme, la principale conséquence de l'immersion de déblais de dragage pour les communautés benthiques déjà en place est la perte d'effectifs et d'habitat. À plus long terme, la faune benthique recolonise le secteur mais le temps de rétablissement pour retourner à un état semblable à celui de la communauté initiale n'est pas connu et ne peut être généralisé selon la littérature scientifique. Afin de préciser les impacts de l'immersion sur l'habitat du poisson, l'étude de suivi visait à documenter la séquence de la colonisation des monticules au dépôt D. Ce suivi comportait une caractérisation physicochimique et benthique des sédiments des trois monticules et de trois zones de référence représentatives de la zone d'étude. L'étude de suivi visait à :

a. déterminer si les communautés benthiques aux différents monticules et dans les zones de référence ont changé entre 1997 et 2001 et, le cas échéant, d'expliquer ces changements;

b. décrire, en comparant la structure de la communauté benthique des différents monticules, la dynamique du rétablissement de cette communauté;
c. évaluer la durée de la période de rétablissement de la communauté benthique au dépôt D.

Différentes analyses statistiques (analyses multivariables et analyses de variance) ont été effectuées avec les données afin d'établir les relations entre la physicochimie et le benthos. Les résultats obtenus quant à la qualité des sédiments indiquent que le dépôt D ne semble pas pollué compte tenu des faibles teneurs en carbone organique total et en sulfures des sédiments. Les différences observées entre les zones seraient expliquées par une plus forte proportion de sédiments fins dans les zones de référence que dans les zones de dépôt. Dans l'ensemble des zones d'étude, la communauté benthique se compose principalement de mollusques et de polychètes. On retrouve également une faible proportion d'échinodermes et de crustacés. Les taxons dominants, les bivalves *Spisula solidissima* et *Tellina agilis* ainsi que le polychète *Spiophanes bombyx* sont caractéristiques des fonds sablonneux.

Les résultats obtenus à partir des analyses multivariables ont permis de démontrer une évolution des communautés benthiques de 1997 à 2001. La comparaison des descripteurs synthétiques à partir des analyses de variance montre que la densité, la diversité et la régularité des communautés ont changé depuis 1997, surtout au monticule C.

De plus, les communautés qui étaient à l'époque dominées par les détritivores de surface, surtout en raison de l'abondance de jeunes échinodermes *Echinarachnius parma*, montrent maintenant de fortes proportions d'organismes filtreurs.

La présente étude indique que les communautés benthiques des zones d'immersion ne redeviendront probablement jamais semblables à celles des zones de référence en ce qui a trait à la composition taxinomique et à l'abondance, compte tenu de la profondeur et de la granulométrie des sédiments qui diffèrent entre les zones. Cela n'empêche pas ces zones de retrouver une communauté diversifiée et équilibrée.

L'étude a également déterminé que le temps nécessaire à une communauté pour retrouver des variables synthétiques stables est supérieur à quatre ans mais probablement inférieur à 10 ans.

Abstract

As part of Environment Canada's Ocean Disposal Program, an environmental monitoring study was conducted at disposal site D, in the Magdalen Islands, Quebec, to ensure that the disposal of dredged material has had no unacceptable negative impacts on the marine environment. This ocean disposal site was created between 1980 and 1982, after the Grande Entrée Channel was first dredged. At the time, 584 784 m^3 had been disposed there, thus creating mound A (also known as the 1982 mound). Disposal site D, which is located approximately 6 km offshore of the Grande-Entrée Harbour, twice more received sediments from maintenance dredging, in summer 1992 (608 713 m^3; mound B) and 1997 (192 487 m^3; mound C). Disposal site D was chosen for environmental monitoring because a large volume of sediment has been dumped here to date (i.e., 1 390 000 m^3), and the disposal site is located in an area that is important habitat for fish, molluscs and crustaceans, including lobster; hence, closer monitoring is required to prevent unanticipated impacts on these sensitive areas.

In the short term, the main consequences of the disposal of dredged material for existing benthic communities are a decrease in the size of populations and of habitats. In the longer term, benthic fauna will re-colonize the area but it is not known how long it will take them to re-establish themselves in a state similar to that of the initial community and this cannot be concluded from the scientific literature. In order to detail the impacts of disposal on fish habitat, the monitoring study aimed to document the sequence of colonization of the mounds in disposal site D. This monitoring included a physicochemical and benthic characterization of the sediments in the three mounds and the three reference areas representative of the study area. The objectives of the study were to:

a. determine if benthic communities at the different mounds and in the reference areas changed between 1997 and 2001 and, if so, explain these changes;
b. describe, comparing the benthic community structure of the different mounds, the re-establishment dynamic of this community; and
c. assess the duration of the re-establishment period of the benthic community at disposal site D.

These data were subjected to a number of statistical analyses (multivariate analyses and analyses of variance) to establish the relationship between physicochemistry and benthos. The results obtained regarding sediment quality indicate that disposal site D does not appear to be polluted, considering the low concentration of total organic carbon and sulfides in the sediments. The differences observed between the areas can be explained by the larger proportion of fine sediment in the reference areas than in the disposal areas. In all of the study areas, the benthic community comprises mainly molluscs and polychaetes. There is also a small proportion of echinoderms and crustaceans. The dominant taxa, the bivalves *Spisula solidissima* and *Tellina agilis*, as well as the polychaete *Spiophanes bombyx*, are characteristic of sandy bottoms.

The results obtained from the multivariate analyses demonstrate that the benthic communities changed from 1997 to 2001. The comparison of global community descriptors based on the analyses of variance show that the density, diversity and evenness of the communities changed since 1997, particularly at mound C.

Moreover, the communities that were dominated at the time by surface detritus feeders, mainly because of the abundance of young *Echinarachnius parma* echinoderms, now show high proportions of filter feeders.

The present study indicates that the benthic communities in the disposal areas will probably never again have the same taxonomic composition and abundance as those in the reference areas, considering the different depth and particle size of the sediments in the areas. This does not, however, prevent these areas from regaining a diversified, balanced community.

The study also determined that it takes a community between four and 10 years to regain stable global community variables.

Collaborateurs

Cette étude a été réalisée dans le cadre du *Programme de surveillance des lieux utilisés pour l'immersion en mer de déblais de dragage et d'excavation* d'Environnement Canada. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation, dont la liste est présentée ci-dessous.

Nom	Affiliation	Rôles
Donald St-Laurent	Protection du milieu aquatique, direction Protection de l'environnement (DPE), Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Direction, coordination et production de l'étude - Rédaction du rapport d'étude
Pierre Gagnon	Centre Saint-Laurent, Direction Conservation de l'environnement (DCE), Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Élaboration de la stratégie d'échantillonnage
Alan Willsie	Protection du milieu aquatique, DPE, Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Élaboration de la stratégie d'échantillonnage et révision des analyses statistiques
Raymond Chabot	Protection du milieu aquatique, DPE, Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Planification et coordination des travaux de terrain - Prélèvement et préparation des échantillons de sédiments - Rédaction du rapport de mission
Isabelle Matteau et Brigitte Cusson	DPE, Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Prélèvement et préparation des échantillons de sédiments
Pierre Azade et Alain Arseneau	Îles-de-la-Madeleine, QC	- Opération du bateau et prélèvement des échantillons de sédiments
Roger Simon	Opérations du secteur Îles-de-la-Madeleine, Gestion des pêches, Pêches et Océans Canada – région du Québec, Cap-aux-Meules, QC	- Prêt d'espaces et d'équipement de laboratoire pour la préparation des échantillons de sédiments

Nom	Affiliation	Rôles
Bernadette Jacquaz M.Sc.	Laboratoires SAB inc., Longueuil, QC	- Caractérisation des communautés d'invertébrés benthiques : coordination et taxinomie - Interprétation des données et rédaction du rapport d'étude
Miren Prieto, France Mongeau, Mathieu Albanese, Myriam Chénier-Soulière, Jonathan Marceau et Valérie Guay	Laboratoires SAB inc., Longueuil, QC	- Caractérisation des communautés d'invertébrés benthiques : tri, taxinomie et contrôle de la qualité
Sylvie Roberge	Section Services scientifiques et techniques (Montréal), Centre Saint-Laurent, Direction Conservation de l'environnement, région du Québec, Environnement Canada, Montréal, QC	- Coordination des analyses physicochimiques de sédiments
	Bodycote Essais de matériaux Canada inc., Sainte-Foy, QC	- Analyses physicochimiques de sédiments
Ken Doe, Paula Jackman, Dale Hughes et Troy Steeves	Laboratoire de toxicologie, Centre des sciences environnementales, DCE, Environnement Canada – région de l'Atlantique, Moncton, NB	- Analyses physicochimiques de sédiments
Daniel Borcard	Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, QC	- Analyse statistique, interprétation des données et rédaction du rapport sur les statistiques
Martin Rodrigue	DPE, Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Géomatique et cartographie
Francine Cloutier	Approvisionnement et marchés, Environnement Canada – région du Québec, Montréal, QC	- Acquisition de services

Nous voulons remercier également tous les autres individus qui ont contribué de près ou de loin au projet et dont les noms n'apparaissent pas ici. Le financement de ce projet a été assuré à partir des droits de surveillance versés par les titulaires de permis d'immersion en mer, ainsi

que par les bureaux national et régional du programme Immersion en mer d'Environnement Canada.

Table des matières

Résumé v

Abstract vii

Collaborateurs ix

Table des matières xiii

Liste des tableaux xv

Liste des figures xvii

1. Introduction 1

2. Matériel et méthodes 7

2.1. Description de l'aire d'étude et plan d'échantillonnage 7

2.2. Échantillonnage 10

2.3. Analyse en laboratoire 11

2.4. Traitement des données 12

2.5. Analyse statistique 13

2.5.1. Analyses multivariables *13*

2.5.2. ANOVA *15*

2.5.2.1. Données physicochimiques 15

2.5.2.2. Données benthiques 15

3. Résultats 17

3.1. Données de terrain 17

3.2. Qualité des sédiments 17

3.3. Communauté d'invertébrés benthiques 19

3.3.1. Composition générale de la communauté benthique *19*

3.3.2. Composition par zone *20*

3.3.3. Analyses multivariables *24*

3.3.3.1. Changements temporels entre 1997 et 2001 24

3.3.3.2. Différences entre les zones 24

3.4. Temps de recouvrement 25

4. Conclusion et recommandations 31

5. Références 33

ANNEXES 35

Annexe A Rapport de mission. Échantillonnage de sédiments pour la caractérisation de la faune benthique, octobre 2001

Annexe B Rapport d'analyse. Caractérisation de la faune benthique récoltée sur le dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine

Annexe C Résultats physicochimiques de la campagne de 2001 au dépôt D

Annexe D Changements taxinomiques survenus entre 1997 et 2001

Annexe E Rapport d'analyse statistique des données

Annexe F Tableau ANOVA pour les données physicochimiques

Annexe G Données sur le benthos

Liste des tableaux

Tableau 1 Volumes de déblais de dragage immergés au dépôt D entre 1980 et 1997 2

Tableau 2 Liste des analyses multivariables réalisées avec les données d'abondance des organismes benthiques récoltés au dépôt D en 1997 et en 2001 14

Tableau 3 Liste des ANOVA réalisées avec les données relatives aux organismes benthiques récoltés au dépôt D en 1997 et en 2001 16

Tableau 4 Moyennes et écarts types des variables physicochimiques des sédiments prélevés en 2001 18

Tableau 5 Moyennes et écarts types des descripteurs synthétiques des organismes benthiques récoltés au dépôt D en 1997 et en 2001 22

Tableau 6 Abondance relative (%) des invertébrés benthiques récoltés en 2001 dans les zones monticulaires et de référence selon leur mode d'alimentation 24

Liste des figures

Figure 1 Localisation du dépôt D et du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec 4

Figure 2 Représentation tridimensionnelle du dépôt D 5

Figure 3 Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 2001 8

Figure 4 Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 1997 9

Figure 5 Abondance relative des grands groupes d'invertébrés benthiques récoltés dans les six zones d'échantillonnage de 2001 21

Figure 6 Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques des campagnes de 2001 et de 1997 27

Figure 7 Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 1997. La seule variable de contrainte est la date de la dernière immersion..... 28

Figure 8 Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 2001. La seule variable de contrainte est la date de la dernière immersion..... 29

Figure 9 Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 2001. Les variables de contrainte sont la date de la dernière immersion et la profondeur..... 30

1. Introduction

Au Canada, l'immersion en mer de déblais de dragage résultant de l'entretien des ports et des chenaux maritimes est une activité réglementée en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* (LCPE). Le gouvernement canadien assure le contrôle de l'immersion en mer par un système de permis et d'inspections administré par Environnement Canada. Une surveillance des opérations d'immersion qui assure le respect de la réglementation en vigueur et des modalités du permis est donc effectuée et un suivi environnemental est prévu. L'ensemble de ces activités permet au gouvernement du Canada de se conformer aux exigences de la LCPE et de s'acquitter de ses obligations internationales aux termes de la *Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets* (dite Convention de Londres de 1972).

Le suivi environnemental réalisé après la mise en dépôt des déblais a pour objectif de vérifier que les activités d'immersion de matières draguées n'entraînent pas d'effets néfastes pour l'environnement. Parmi les outils utilisés lors de ces suivis, la caractérisation de la structure des communautés benthiques est considérée comme un outil important d'évaluation des répercussions environnementales sur les systèmes marins. Ces communautés sont, en effet, sensibles aux changements dans la qualité de l'eau et des sédiments et ils sont de bons indicateurs des effets pouvant affecter les niveaux supérieurs de la chaîne trophique.

À court terme, la principale conséquence de l'immersion de déblais de dragage sur le benthos est la perte d'effectifs et d'habitats pour les communautés. À plus long terme, la faune benthique recolonise le secteur mais le temps de rétablissement pour retourner à un état semblable à celui de la communauté initiale, ou encore à un état d'équilibre, n'est pas connu et ne peut être généralisé selon la littérature scientifique en raison de la grande variabilité des facteurs en cause (volumes de sédiments, granulométrie, profondeurs, hydrographie, etc.). Une étude de Pêches et Océans Canada (Harvey *et al.* 1998) a montré que le temps de rétablissement à un site de la baie des Chaleurs était supérieur à 2 ans, mais depuis, aucune recherche n'a été effectuée sur ce sujet au Québec. C'est dans le but de suivre l'évolution des communautés benthiques que le suivi a été entrepris au dépôt D, un important site d'immersion aux Îles-de-la-Madeleine.

La sélection du dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine comme objet d'un suivi environnemental a principalement été motivée par le fait qu'il s'agit du plus important site de dépôt régi par le programme d'immersion en mer de la région du Québec avec près de 1 400 000 m^3 immergés à ce jour. En 1980, Mines Seleine a procédé au dragage d'un chenal dans la lagune de la Grande Entrée de façon à permettre aux navires chargés de transporter le sel d'accéder à son quai situé à l'intérieur de la lagune. Les sédiments dragués lors de ces travaux ont été en partie acheminés au site de dépôt situé à environ 6 km au large du havre de Grande-Entrée. L'aire de dragage dans le chenal de la Grande Entrée, ainsi que la position du dépôt D, sont présentées à la Figure 1. Les dépôts de sédiments ont eu lieu de 1980 à 1982. Le dépôt D a été utilisé à deux reprises par la suite pour recevoir les sédiments issus de l'entretien du chenal, soit en 1992 et en 1997. On retrouve à la Figure 2 une représentation tridimensionnelle des monticules de sédiments créés par ces trois épisodes de dragage et d'immersion. Les volumes de sédiments immergés au dépôt D sont présentés au Tableau 1. Il faut souligner que le dépôt D est situé dans une région importante en ce qui a trait aux habitats de poissons, mollusques et crustacés, dont celui du homard, et qu'il demande un suivi plus approfondi afin de prévenir tout impact imprévu sur ces zones sensibles.

Tableau 1 Volumes de déblais de dragage immergés au dépôt D entre 1980 et 1997

Années	1980-1982	1992	1997
Volume immergé (m^3)	584 784	608 713	192 487

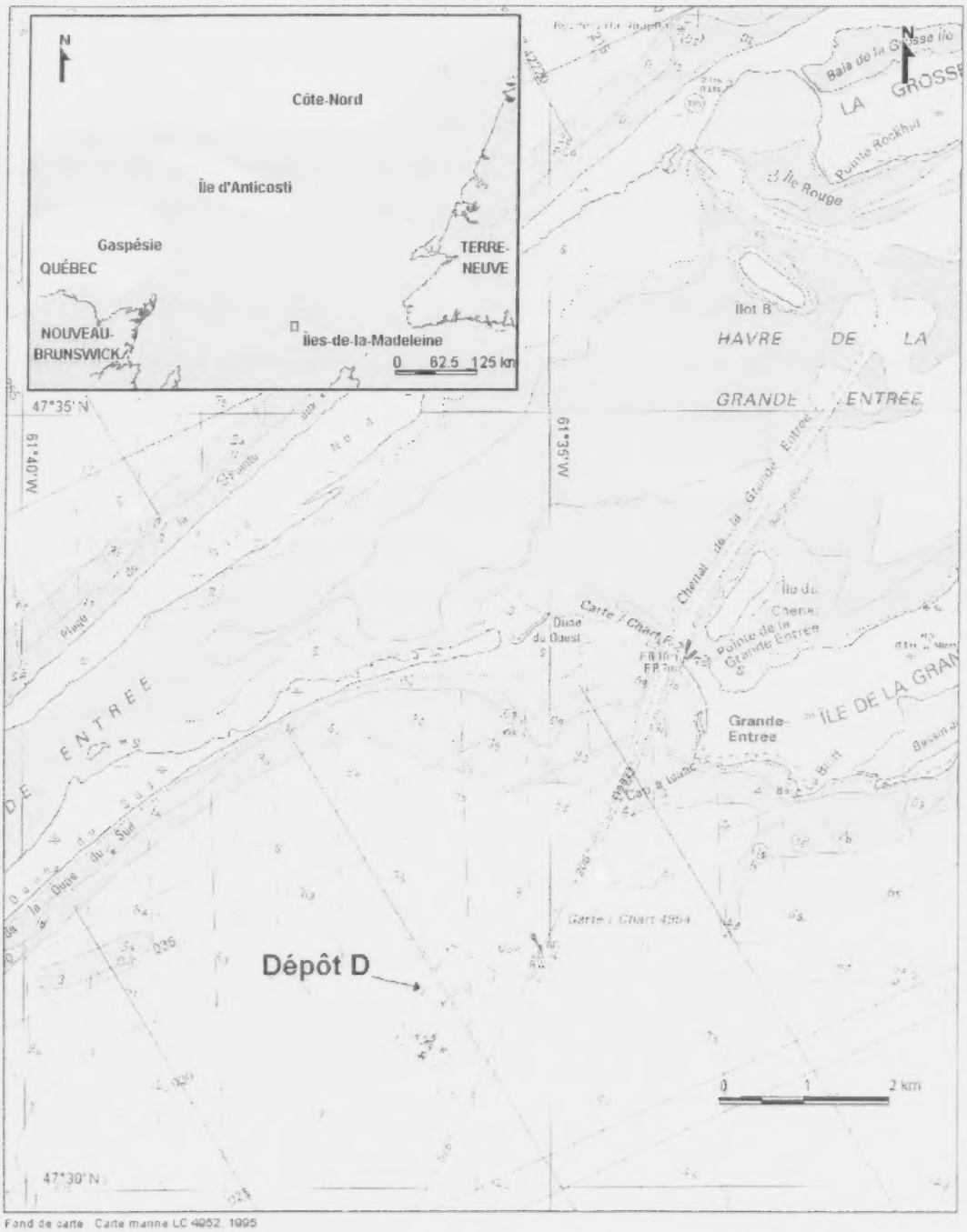
Le suivi environnemental a débuté à l'automne 1997 par la caractérisation des propriétés physicochimiques, toxicologiques et benthiques des sédiments récoltés à ce site de dépôt (St-Laurent *et al.* 2000). Les résultats ont démontré essentiellement que la qualité des sédiments immergés était satisfaisante et que, malgré la différence entre la zone de dépôt et le secteur de référence quant à la structure de la communauté benthique, le rejet des sédiments en eau libre n'a pas eu d'effet néfaste important sur le benthos. Malheureusement, il était impossible de statuer sur le temps de rétablissement des communautés en raison de facteurs confondants, dont la profondeur, dans les zones de référence.

Afin de compléter cette étude, une nouvelle campagne d'échantillonnage concernant la caractérisation benthique et physicochimique des sédiments aux lieux d'immersion et à des sites de référence a été effectuée à l'automne 2001 dans le cadre du suivi environnemental du dépôt D. Les résultats de cette campagnes sont donnés dans différents documents : *Rapport de mission. Échantillonnage de sédiments pour la caractérisation de la faune benthique, octobre 2001* (Annexe A), *Rapport d'analyse. Caractérisation de la faune benthique récoltée sur le dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine* (Annexe B) et *Résultats physicochimiques de la campagne de 2001 au dépôt D* (Annexe C).

Les objectifs de la présente étude étaient de :

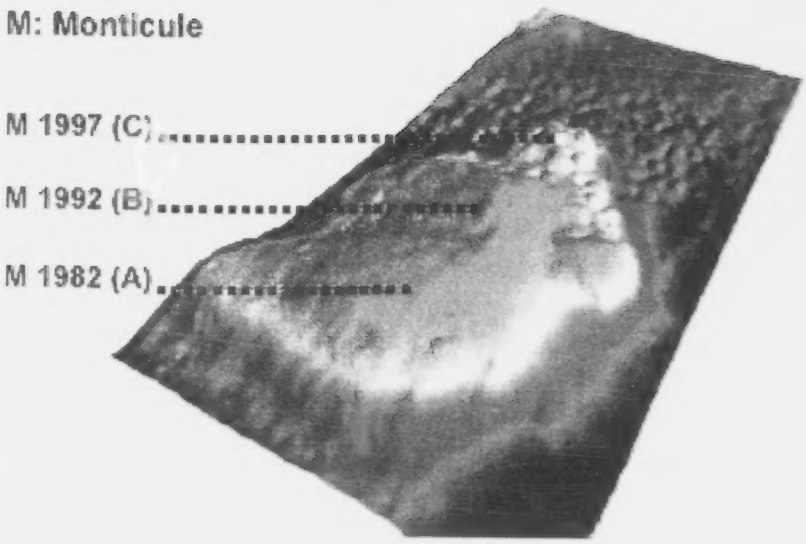
a. déterminer si les communautés benthiques aux sites d'immersion et dans les zones de référence ont changé entre 1997 et 2001 et, le cas échéant, d'expliquer ces changements ;
b. décrire, en comparant la structure de la communauté benthique des différents monticules d'immersion, la dynamique du rétablissement de cette communauté ; et
c. évaluer la durée de la période de rétablissement de la communauté benthique au dépôt D.

Figure 1 Localisation du dépôt D et du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec



Fond de carte : Carte marine LC 4952, 1995

Figure 1 **Localisation du dépôt D et du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec**



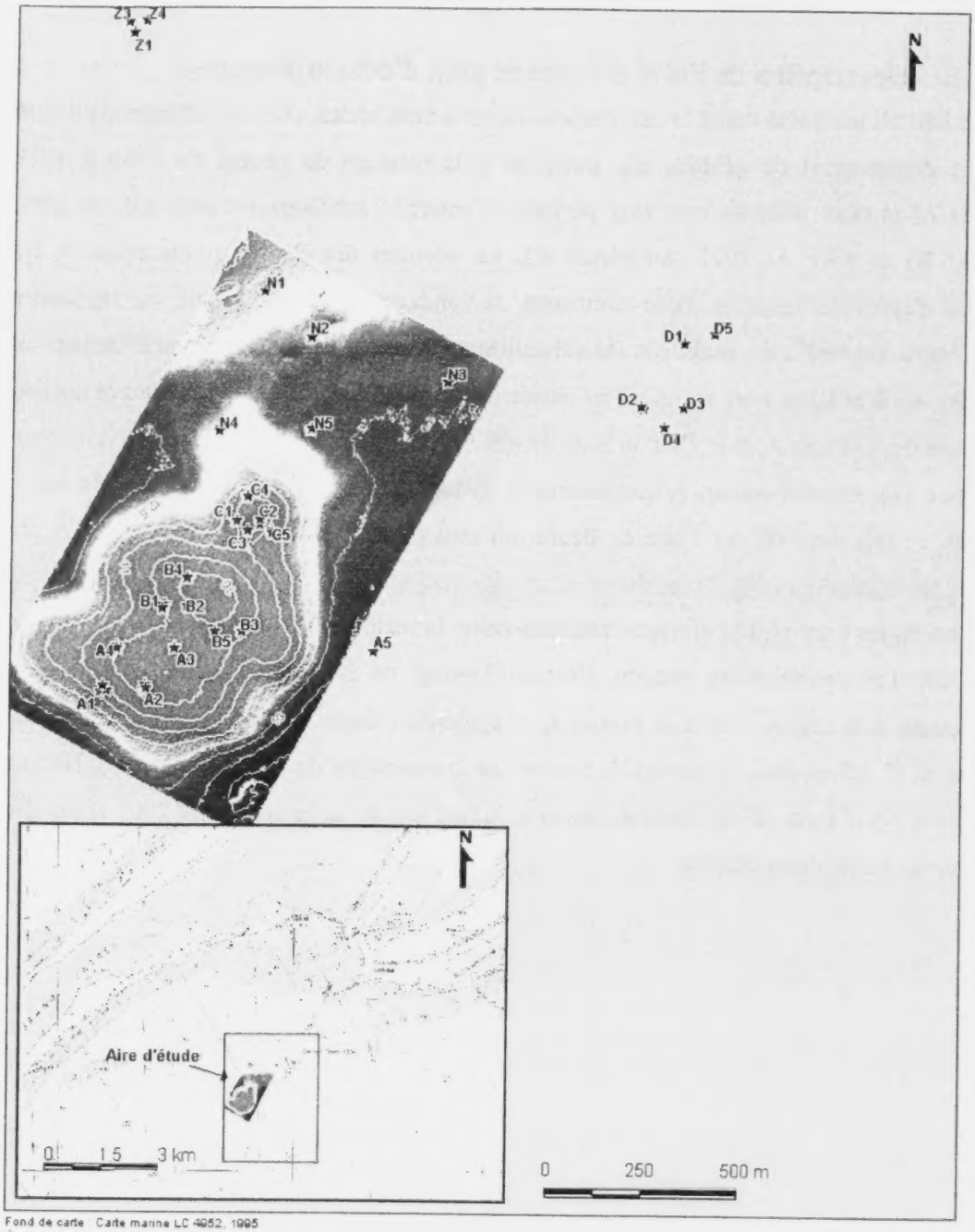
D'après un relevé hydrographique effectué en septembre 1997 (source : Service hydrographique du Canada).

Figure 2 **Représentation tridimensionnelle du dépôt D**

2. Matériel et méthodes

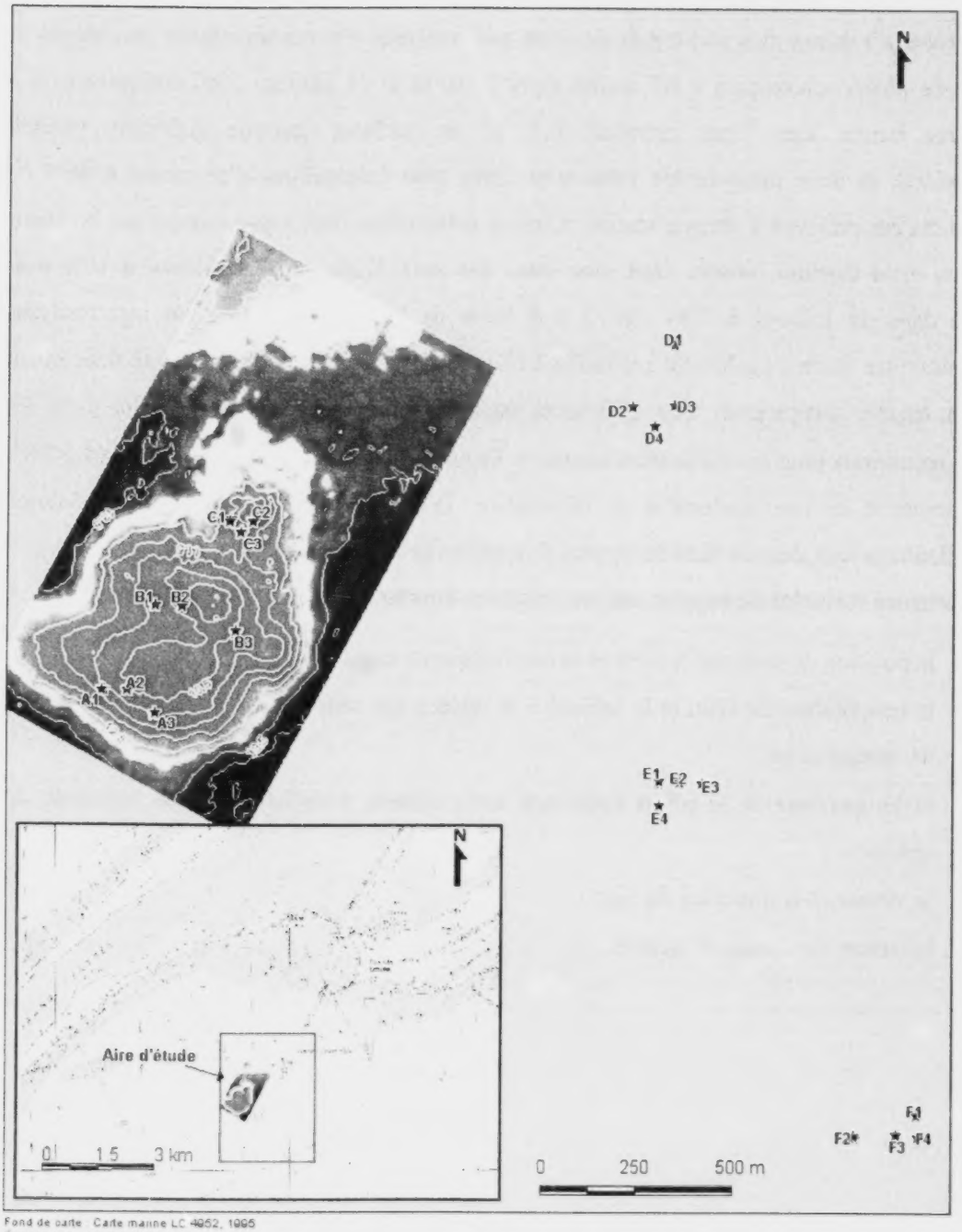
2.1. Description de l'aire d'étude et plan d'échantillonnage

Le lieu d'immersion dépôt D est composé de trois monticules, chacun correspondant à un événement d'immersion de déblais, soit celui lié à la création du chenal de 1980 à 1982 (monticule A) et ceux associés aux deux périodes d'entretien subséquentes soit celle de 1992 (monticule B) et celle de 1997 (monticule C). La position des dépôts (monticules) a été déterminée d'après les résultats d'une campagne de sondage acoustique réalisé en septembre 1997. À l'automne 1997, six zones ont été échantillonnées soit trois zones du lieu d'immersion (monticules A, B et C) et trois zones de référence (D, E et F). En 2001, les trois zones du lieu d'immersion (monticules A, B et C) et la zone de référence D ont été reprises. Une nouvelle zone de référence (Z), de profondeur, granulométrie et hydrodynamique comparables à celle des 3 monticules, et une zone N, sur l'aire de dépôt qui sera utilisée un an plus tard en 2002, ont également été échantillonnées. Le positionnement des stations d'échantillonnage à l'intérieur de chacune des zones a été réalisé de façon aléatoire selon la méthodologie décrite dans St-Laurent *et al.* (2000). Les positions des stations d'échantillonnage de 2001 et de 1997 sont illustrées respectivement à la Figure 3 et à la Figure 4, et également données dans le document de St-Laurent *et al.* (2000) et dans le rapport de mission de la campagne de 2001 (Annexe A). Notons que la station A5 n'a pas été localisée de façon adéquate lors de la campagne de 2001 et qu'elle s'est retrouvée à côté du monticule.



Fond de carte : Carte marine LC 4952, 1995
Équidistance des isobaths : 0.5m

Figure 3 **Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 2001**



Fond de carte : Carte marine LC 4952, 1995
Équidistance des isobaths : 0.5m

Figure 4 **Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 1997**

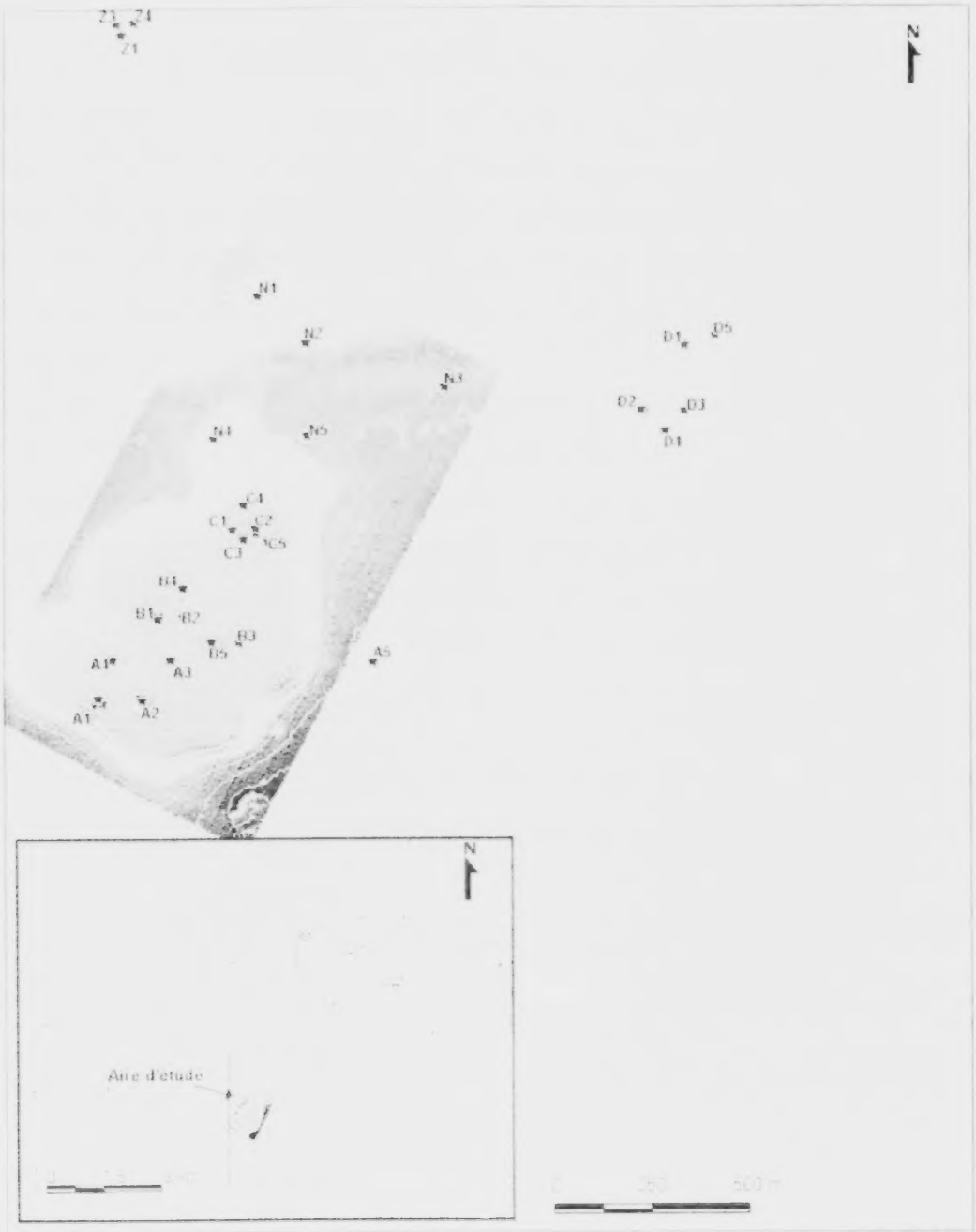


Figure 3 **Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 2001**

Figure 4 Position des stations d'échantillonnage lors de la campagne de 1997

2.2. Échantillonnage

L'échantillonnage des sédiments destinés aux analyses des communautés benthiques et aux analyses physicochimiques a été réalisé entre le 16 et le 21 octobre 2001 inclusivement à l'aide d'une benne Van Veen couvrant 0,1 m^2 de surface (marque Kahlsico, modèle 214WB265/SS, en acier inoxydable). Pour le benthos, trois échantillons d'au moins 4 litres de sédiments étaient prélevés à chaque station. Chaque échantillon était passé ensuite sur un tamis de 0,5 mm et la fraction retenue était mise dans des pots, fixée avec du formol à 10% puis transférée dans de l'alcool à 70%. De 2 à 4 litres de sédiments nécessaires aux analyses physicochimiques étaient également recueillis à chaque station après avoir siphonné doucement l'eau non trouble sus-jacente. Les sédiments étaient homogénéisés, puis répartis dans les récipients appropriés pour les différentes analyses. Ils étaient ensuite conservés au froid ($4 \pm 2°C$) jusqu'au moment de leur traitement en laboratoire. Les détails concernant la méthodologie d'échantillonnage sont donnés dans le rapport de mission de la campagne de 2001 (Annexe A).

Certaines variables de support ont été mesurées directement sur le terrain comme :

- la position donnée par le GPS et la profondeur au moment du prélèvement ;
- la température de l'eau et la salinité à la surface des sédiments à au moins une station de chaque zone ;
- la température et le pH à l'interface eau-sédiment enregistrés dès la remontée du sédiment ;
- la vitesse et la direction du vent ;
- la lecture du disque de Secchi.

2.3. Analyse en laboratoire

Au laboratoire, les 3 échantillons de benthos prélevés à chaque station étaient combinés avant d'être triés. Lorsque les échantillons combinés formaient un trop gros volume, une fraction seulement du substrat était analysée. Les organismes prélevés étaient dénombrés puis identifiés le plus souvent à l'espèce. Les résultats des échantillons fractionnés étaient ramenés à l'échantillon total. La méthodologie complète de l'analyse de la faune benthique est présentée dans St-Laurent *et al.* (2000) et dans le rapport d'analyse du benthos récolté à la campagne de 2001 présenté à l'Annexe B.

Les analyses physicochimiques comprenaient la granulométrie des sédiments (analyses réalisées par la firme Bodycote Essais de matériaux Canada inc.), les teneurs en carbone organique total (analyses réalisées par le Centre Saint-Laurent) et les teneurs en sulfures totaux, en azote ammoniacal dans le sédiment entier et dans l'eau interstitielle et le potentiel d'oxydoréduction des sédiments (analyses réalisées par le Laboratoire de toxicologie du Centre des sciences environnementales à Moncton, NB). Le potentiel d'oxydoréduction des sédiments n'a pas été retenu pour les analyses subséquentes en raison de la très grande variation dans les données.

Des procédures de contrôle de la qualité des résultats ont été appliquées pour toutes les analyses. Ces procédures sont données dans le document de St-Laurent *et al.* (2000). Les résultats du contrôle de la qualité sont présentés dans le tableau des résultats physicochimiques de la campagne de 2001 (Annexe C) et dans le rapport d'analyse du benthos récolté à la campagne de 2001 (Annexe B).

2.4. Traitement des données

Avant de procéder aux analyses statistiques des données, les résultats ont tout d'abord fait l'objet d'un traitement préliminaire. La station A5 qui avait été mal localisée lors de l'échantillonnage de 2001 a été placée avec celles du monticule A pour le traitement des données. Pour les données physicochimiques, les sédiments plus fins que 0,125 mm ont été regroupés sous « sables fins » pour certaines analyses. Pour les données benthiques, la liste des taxons de 1997 et de 2001 a tout d'abord été uniformisée en utilisant la nomenclature recommandée dans Brunel *et al.* (1998) et en validant, à partir de la collection de référence de 1997, les identifications faites à l'époque. La liste des changements taxinomiques effectués entre 1997 et 2001 est donnée à l'Annexe D. Par la suite, certains groupes taxinomiques (groupes planctoniques, foraminifères, nématodes, acariens, poissons) ont dû être enlevés du traitement car la méthodologie de prélèvement des sédiments et le matériel d'échantillonnage utilisé n'étaient pas adaptés à la capture adéquate et exhaustive de ces organismes.

Par la suite des descripteurs dits synthétiques des communautés ont été déterminés. Les valeurs d'abondance totale (nombre d'organismes), de densité (nombre d'organismes/m^2) et de richesse taxinomique (nombre de taxons) ont été calculées pour chaque prélèvement. Les indices de diversité (H'; Shannon-Wiener 1963) et de régularité (*J* de Pielou; Legendre et Legendre 1998) ont été calculés pour chaque unité d'échantillonnage d'après les formules suivantes:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} \frac{n_i}{N} \log\left(\frac{n_i}{N}\right)$$

$$J = H'/\log(S)$$

où N est le nombre total d'individus dans le prélèvement, n_i le nombre d'individus de l'espèce i et S le nombre total de taxons. La base des logarithmes est de 2.

Une valeur élevée de l'indice de diversité de Shannon (> 3) reflète une communauté diversifiée caractéristique d'un milieu favorable à la survie de plusieurs espèces (Wihlm 1970). Au contraire, une faible valeur de l'indice de diversité (< 1) reflète une communauté qui est généralement indicatrice d'un milieu perturbé. L'indice de régularité (entre 0 et 1) est une mesure

de la distribution des individus parmi les différents taxons récoltés. Une distribution plus régulière, plus proche de 1, indique une communauté plus stable, qui n'est pas dominée par un taxon en particulier.

Étant donné que les taxons ne sont pas identifiés au même niveau, les notions de richesse taxinomique, diversité et régularité sont à considérer avec certaines précautions.

Afin d'aider à l'interprétation, le pourcentage d'abondance relative des grands groupes taxinomiques et la proportion des taxons appartenant à des groupes fonctionnels basés sur leur alimentation ont été déterminés. Ainsi, les détritivores de surface, les détritivores fouisseurs, les filtreurs et les carnivores ont été identifiés en suivant les classifications établies dans Enequist (1949), Barnes (1974), Gosner (1971), Fauchald et Jumars (1979), Abbott (1982) et Pocklington (1989).

2.5. Analyse statistique

2.5.1. Analyses multivariables

Les analyses multivariables ont été faites sur les abondances des organismes benthiques par des analyses en composantes principales (ACP) et par des analyses de redondances (RDA) (Legendre et Legendre 1998) avec transformation préalable des données (Legendre et Gallagher 2001). Certains ajustements des données ont dû être faits avant de procédés aux analyses. Des taxons dont de rares exemplaires étaient incertains (*Acanthophoreus gracilis* et *A.* cf *gracilis*; *Pandora gouldiana* et *P gouldiana* ?; *Phyllodoce mucosa* et *P.* cf *mucosa*) ont été regroupés. L'oursin plat *Echinarachnius parma* dont d'énormes quantités de petits exemplaires ont été récoltées en 1997 seulement a été retiré avant l'analyse. De plus après quelques analyses, il s'est avéré que le prélèvement A2 en 2001 se comportait de manière aberrante et déformait l'analyse ; il a donc été éliminé des autres analyses. La liste des analyses multivariables réalisées avec les données du dépôt D est présentée au Tableau 2. Le rapport d'analyse statistique donné à l'Annexe E décrit le détail des analyses.

Tableau 2 Liste des analyses multivariables réalisées avec les données d'abondance des organismes benthiques récoltés au dépôt D en 1997 et en 2001

	Analyse	Outil	Données	Variables	But
Comparaison entre années	1	RDA	zones A,B,C,D,N,Z	1 explicative: temps	Tester si les communautés ont changé entre 1997 et 2001
	2	ACP	zones A,B,C,D,N,Z	sans contrainte	Vérifier si l'introduction de la contrainte n'avait pas déformé le résultat
Comparaison entre sites 1997	3	RDA	zones A,B,C,D	1 explicative: date dernière immersion	Tester l'effet de l'immersion et celui de la différence d'âge de la dernière immersion
	4	ACP	zones A,B,C,D	sans contrainte	Vérifier si l'introduction de la contrainte n'avait pas déformé le résultat
Comparaison entre sites 2001	5	RDA	zones A,B,C,D,N,Z	2 explicatives: date dernière immersion et profondeur	Tester l'effet de la différence d'âge de la dernière immersion et l'effet de la profondeur
	6	RDA	zones A,B,C,D,N,Z sans A2	2 explicatives: date dernière immersion et profondeur	Même objectif qu'en 5 mais en enlevant le prélèvement A2 qui se comporte de manière aberrante et déforme l'analyse
	7	ACP	zones A,B,C,D,N,Z sans A2	sans contrainte	Vérifier si l'introduction de la contrainte n'avait pas déformé le résultat
	8	RDA	zones A,B,C,D,N,Z sans A2	12 explicatives: descripteurs physicochimiques*, date dernière immersion et profondeur	Tester si les descripteurs physicochimiques avaient une influence significative sur les communautés en plus des variables immersion et profondeur
	9	RDA	zones A,B,C,D sans A2	1 explicative: date dernière immersion	Comparaison de A,B,C,D et tester si dispersion est liée aux années d'immersion
	10	RDA	zones D,N,Z	1 explicative: profondeur	Comparaison de D,N,Z et tester si dispersion est liée à la profondeur
	11	RDA	zones D,N,Z	3 qualitatives: zones; covariable: profondeur	Tester s'il reste une différence significative entre les 3 zones de référence après avoir ôté l'influence de la profondeur

* descripteurs physicochimiques : 6 classes de sable, 2 classes de limon, l'azote ammoniacal et les sulfures

2.5.2. ANOVA

2.5.2.1. Données physicochimiques

Une ANOVA simple (par zone) a été effectuée sur les données physicochimiques récoltées en 2001. Les variables utilisées ont au préalable subi des tests de normalité (Kolmogorov-Smirnov) et d'homogénéité des variances (Levene). Le Tableau 3 présente les données relatives aux ANOVA effectuées. L'Annexe F donne les détails sur les résultats des ANOVA effectuées sur les données physicochimiques.

2.5.2.2. Données benthiques

Une ANOVA à deux critères de classification (zone et année) et deux ANOVA simples (une pour chaque année) ont été effectuées après avoir recalculé les descripteurs synthétiques (abondance totale, densité, richesse taxinomique, diversité et régularité) en enlevant les données de A2 (2001) et faisant les retraits et les fusions mentionnés à la section 2.5.1. Les variables utilisées ont au préalable subi des tests de normalité (Kolmogorov-Smirnov-Stephens) et d'homogénéité des variances (Bartlett par permutations). Dans les deux ANOVA simples, des tests a posteriori de Student-Newman-Keuls (SNK) ont été utilisés lorsque les ANOVA étaient significatives. Ce choix est motivé par le faible nombre de répétitions qui entraîne une faible puissance des tests. Un test a posteriori libéral donne plus de chance de détecter des différences. Le Tableau 3 présente les données relatives aux ANOVA effectuées. L'Annexe E présente les détails sur les résultats des ANOVA.

Tableau 3 Liste des ANOVA réalisées avec les données relatives aux organismes benthiques récoltés au dépôt D en 1997 et en 2001

	Données	Nombre d'observations	Variables
ANOVA 2001 (simple)	Zones A,B,C,D,N,Z de 2001	28	Variables physicochimiques*
ANOVA globale (à deux critères de classification croisés)	Zones A,B,C,D de 1997 et de 2001	32	Descripteurs synthétiques**
ANOVA 1997 (simple)	Zones A,B,C,D de 1997	13	Descripteurs synthétiques**
ANOVA 2001 (simple)	Zones A,B,C,D,N,Z de 2001	27	Descripteurs synthétiques**

* Variables physicochimiques : profondeur, azote ammoniacal, sulfures, proportion de sables fins <0,125mm.

** Descripteurs synthétiques : densité, richesse taxinomique, diversité, régularité.

3. Résultats

3.1. Données de terrain

Les données de terrain recueillies lors de l'échantillonnage de 2001 sont consignées dans le rapport de mission présenté à l'Annexe A. La position et la profondeur des stations, la température, le pH, la salinité et l'opacité de l'eau ainsi que la direction et la vitesse des vents font partie des variables mesurées. Mis à part la profondeur des stations d'échantillonnage qui était moindre dans les zones monticulaires que dans les zones de référence (moyennes de 10,3 m vs 11,9 m), peu de différences ont été observées entre les stations pour ces variables. La différence de profondeur est principalement attribuable à la présence des monticules créés par le dépôt des déblais de dragage.

Les données recueillies en 1997 sont semblables à celles de 2001 (St-Laurent *et al.* 2000) quoique les températures et les salinités soient légèrement inférieures probablement en raison de la période d'échantillonnage plus tardive.

3.2. Qualité des sédiments

Les valeurs moyennes de l'analyse physicochimique des sédiments sont présentées au Tableau 4. Les zones d'immersion et de référence ne semblent pas polluées étant donné les faibles teneurs en carbone organique total (COT) et en sulfures des sédiments (Hargrave *et al.* 1995).

Les stations des zones de référence et celles des monticules montraient des différences significatives pour la plupart des variables physicochimiques sauf pour le carbone organique total qui présentait des données inférieures à la limite de détection dans toutes les zones (Tableau 4). Les stations des zones de référence D et N sont plus profondes que celles des zones monticulaires et elles contiennent une plus forte proportion de sables fins. Cette granulométrie différente, également observée par Harvey *et al.* (1998), pourrait être expliquée par l'apport de sédiments plus grossiers dans les zones monticulaires lors de l'immersion des déblais de dragage, ce qui diminue la proportion de sable fin. De plus, la dynamique du milieu n'arriverait pas, comme le suggère Harvey *et al.* (1998), à brasser suffisamment les sédiments des zone de dépôt pour les rendre semblables aux zones de référence adjacentes. Les stations de référence montrent également des concentrations plus fortes en azote ammoniacal (provenant de la dégradation

biologique) et en sulfures. Ces dernières observations peuvent être reliées aux sables fins des zones de référence car, en général, plus la taille des particules de sédiments diminue et plus la concentration en contaminants organiques et en métaux augmente (Loring et Rantala 1992 ; Lamberson *et al.* 1992). Lamberson *et al.* (1992) attribuent ce phénomène au plus grand rapport surface/volume des sédiments fins qui augmentent la surface d'adsorption ainsi qu'à la plus grande capacité des particules fines à s'ioniser. Les données de 2001 sont semblables à celles observées en 1997 (St-Laurent *et al.* 2000).

Tableau 4 Moyennes et écarts types des variables physicochimiques des sédiments prélevés en 2001

	MONTICULES			ZONES DE RÉFÉRENCE		
Zones	A	B	C	D	N	Z
Nombre de stations	5	5	5	5	5	3
Profondeur (m)	10,3	9,9	10,8	12,9	12,8	10,0
Écart type	0,5	0,4	0,5	0,4	0,2	0,1
	ab	*a*	*b*	*c*	*c*	*a*
Sables fins <0,125 mm (%)	9,4	6,8	9,0	20	17,4	21,7
Écart type	4,1	2,3	3,1	3,1	7,5	0,6
	ab	*b*	*b*	*c*	*ac*	*c*
Azote ammoniacal sédiments (mg/kg)	1,3	1,6	1,8	4,9	3,8	3,4
Écart type	0,8	0,9	0,5	2,1	2,3	1,0
	a	*ac*	*ab*	*b*	*bc*	*bc*
Sulfures (mg/kg)	2,0	3	3,0	8,9	7,1	3,3
Écart type	2,6	2,6	1,6	3,5	3,4	1,9
	a	*ab*	*ab*	*b*	*b*	*ab*
Carbone organique total (%)	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Note : Pour chacune des variables physicochimiques, les moyennes montrant la même lettre en italique ne sont pas significativement différentes selon le test de comparaison multiple de Tukey (P=0,05).

3.3. Communauté d'invertébrés benthiques

3.3.1. Composition générale de la communauté benthique

Pour l'ensemble des stations d'échantillonnage, la communauté benthique de 2001 se compose essentiellement de mollusques et de polychètes. Ils constituent respectivement 68 % (dont 61 % de bivalves) et 29 % du nombre total d'organismes récoltés. Les échinodermes, les crustacés et les autres se partagent le 3 % restant. Ces données contrastent avec celles de 1997 (St-Laurent *et al.* 2000) où la majorité des organismes étaient des échinodermes (surtout juvéniles). Mais si on retire ces derniers, les mollusques forment alors 66 % (dont 58 % de bivalves) des organismes et les polychètes, 27 %, ce qui donne des résultats semblables à ceux de 2001. Au chapitre de la richesse taxinomique, c'est chez les polychètes que l'on rencontre le plus grand nombre de taxons (31 taxons sur 71 au total) en 2001, tandis qu'en 1997, les crustacés et les polychètes étaient les plus riches avec respectivement 25 et 21 taxons sur 63 au total.

Parmi les taxons dominants en 2001, les bivalves *Spisula solidissima* et *Tellina agilis* sont les plus nombreux et forment respectivement 41 et 21 % de l'effectif total. Ces bivalves sont caractéristiques des fonds sablonneux (Abbott, 1982), tout comme le polychète *Spiophanes bombyx* qui compose, quant à lui, 17 % des organismes. En 1997, c'est l'échinoderme *Echinarachnius parma* qui est le plus nombreux avec 62 % des organismes récoltés suivi du bivalve *Tellina agilis* (20 %) et du gastropode *Nassarius trivittatus* (3 %). *Spisula solidissima* formait alors moins de 1 % des organismes. Les données détaillées relatives aux nombres d'organismes benthiques récoltés dans la campagne de 2001 sont présentées à l'Annexe G.

Il est difficile de comparer les données de 1997 et de 2001 aux données historiques de benthos récolté sur le dépôt D comme celles rapportées dans les études de Burton et Drapeau (1981), de Elouard *et al.* (1983) et du Groupe Environnement Shooner (1991) car les méthodologies d'échantillonnage n'étaient pas les mêmes. Mentionnons entre autres que l'échantillonnage d'organismes plus gros avec des plongeurs ou l'utilisation d'un tamis plus grossier de 1mm (0.5 mm pour les prélèvements de 1997 et 2001). Il faut souligner cependant qu'en octobre 1982, quelques mois après l'immersion, Elouard *et al.* (1983) observaient la dominance très marquée des échinodermes *Echinarachnius parma* juvéniles (99,8%) comme ceux observés en 1997. Il est probable que les conditions physicochimiques et la présence de diatomées benthiques ou de micro-organismes étaient favorables à la présence de ces organismes.

Tout comme en 1997 et en 2001, on retrouvait en grand nombre des espèces comme *Nassarius trivittatus, Tellina agilis* et *Spiophanes bombyx* dans les données historiques.

3.3.2. Composition par zone

L'abondance relative des principaux groupes taxinomiques en 2001 se ressemble d'une zone à l'autre malgré de petites différences dans les zones B et C où l'on retrouve plus de mollusques et moins de polychètes qu'ailleurs (Figure 5). À comparer aux données de 1997, on observe une proportion nettement moins élevée des échinodermes dans toutes les zones au profit des mollusques et des polychètes. Mais si on enlève les échinodermes, les pourcentages de 1997 deviennent alors semblables à ceux de 2001. Seule la proportion des crustacés était à l'époque plus élevée en C avec une forte abondance du cumacé *Pseudoleptocuma minor* et de l'isopode *Edotea montosa*.

Les différents descripteurs synthétiques (calculés après avoir fait les retraits et les fusions mentionnés à la section 2.5.1) telles que la densité moyenne des organismes, la richesse taxinomique, la diversité et la régularité ont également permis de mettre en évidence des distinctions entre les communautés benthiques des zones échantillonnées (Tableau 5).

Les densités changent d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. Il faut dire que cette mesure est sensible aux conditions locales, temporellement comme spatialement. On note la forte augmentation de la densité moyenne de la zone C (qui venait de recevoir les déblais de dragage en 1997) de 1997 à 2001. En 2001, la densité était plus élevée en D mais aussi en C et en N avec comme espèce dominante le bivalve *Spisula solidissima*. En 1997, elles étaient également plus forte en D avec à l'époque le bivalve *Tellina agilis* comme dominant.

Pour ce qui est de la richesse taxinomique, elle est plus faible dans les zones monticulaires A et B que dans la zone de référence D en 2001. Seule la zone C est comparable à toutes les zones de référence pour le nombre de taxons. Enfin, les indices de diversité et de régularité, qui ne montraient pas de différences significatives en 1997, affichent en 2001 des valeurs plus faibles en C que dans les autres zones monticulaires. Ces faibles valeurs peuvent probablement être associés à la forte dominance de *Spisula solidissima* mais aussi au fait que la communauté de la zone C n'est pas encore rétablie depuis l'immersion de 1997.

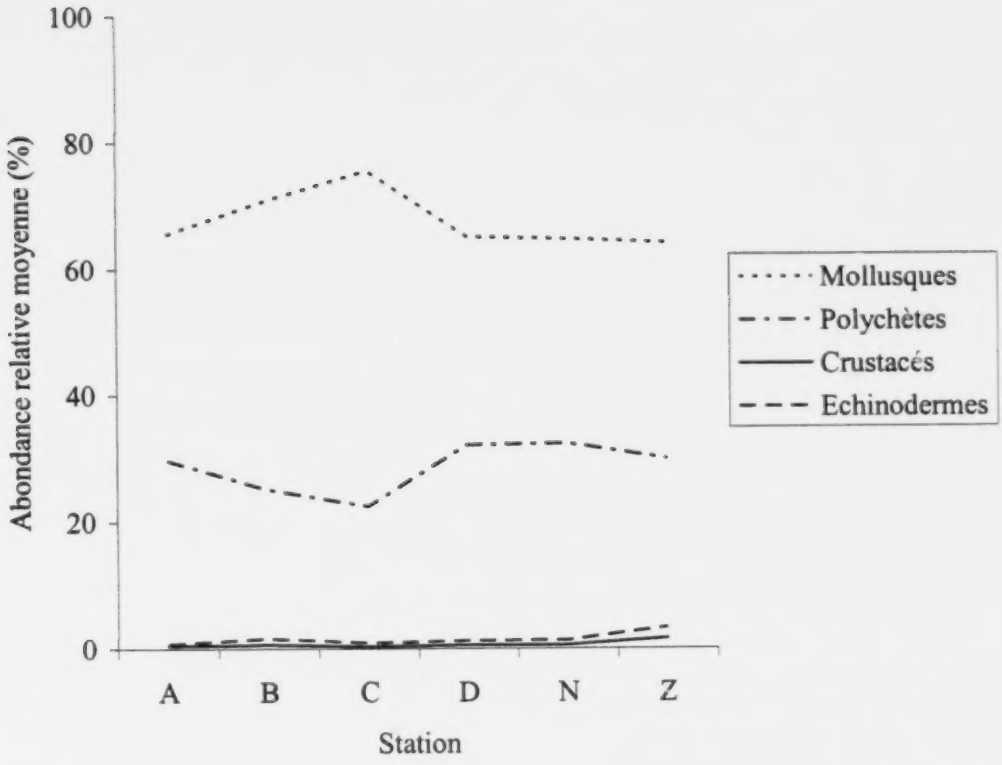


Figure 5 **Abondance relative des grands groupes d'invertébrés benthiques récoltés dans les six zones d'échantillonnage de 2001**

Tableau 5 Moyennes et écarts types des descripteurs synthétiques des organismes benthiques récoltés en 1997 et en 2001

	A	B	C	D	N	Z
2001*						
Densité (n/m2)	2577	2231	4253	4845	3721	2620
Écart type	1577	810	676	1300	1095	717
	a	*a*	*ab*	*b*	*ab*	*a*
Richesse taxinomique	17	18	20	28	25	23
Écart type	3,7	2,4	6,9	2,4	4	3,8
	a	*a*	*ab*	*b*	*ab*	*ab*
Diversité	2,37	2,49	2,09	2,52	2,49	2,77
Écart type	0,15	0,17	0,11	0,19	0,226	0,09
	a	*ab*	*c*	*ab*	*ab*	*b*
Régularité	0,59	0,6	0,49	0,53	0,53	0,61
Écart type	0,07	0,01	0,04	0,05	0,06	0,05
	a	*a*	*b*	*ab*	*ab*	*a*
1997**						
Densité (n/m2)	1222	1120	480	3315		
Écart type	472	783	203	747		
	a	*a*	*a*	*b*		
Richesse taxinomique	19	16	16	22		
Écart type	1,5	2,5	2,6	4,2		
	a	*a*	*a*	*a*		
Diversité	2,81	2,5	2,7	2,61		
Écart type	0,29	0,15	0,21	0,44		
	a	*a*	*a*	*a*		
Régularité	0,66	0,62	0,68	0,59		
Écart type	0,08	0,05	0,08	0,09		
	a	*a*	*a*	*a*		

* Les données de A2 n'ont pas été incluses, certains taxons ont été fusionnés et le taxon *Echinarachnius parma* a été retiré.

** Le taxon *Echinarachnius parma* a été retiré.

Note : Pour chacun des descripteurs synthétiques, les moyennes montrant la même lettre en italique ne sont pas significativement différentes selon les tests a posteriori Student-Newman-Keuls sur l'ANOVA P=0.05.

L'examen de la distribution des invertébrés benthiques dans chacune des zones selon leur mode alimentaire révèle la dominance des filtreurs et des détritivores de surface en 2001 (Tableau 6). Les proportions de ces deux groupes sont souvent équivalentes sauf en zone monticulaire C où les filtreurs comme le bivalve *Spisula solidissima* dominent et en Z où les détritivores de surface comme le bivalve *Tellina agilis* et le polychète *Spiophanes bombyx* sont beaucoup plus nombreux. Les carnivores viennent en troisième place avec un bon nombre de polychètes *Nephtys bucera* et de gastéropodes *Nassarius trivittatus* que l'on retrouve surtout en D et en N. Le polychète détritivore fouisseur *Glycera dibranchiata* est également bien représenté dans les zones de référence.

Les valeurs de 1997 (St-Laurent *et al.* 2000) mettaient en évidence les fortes proportions de détritivores de surface en raison de la très grande abondance des oursins plats (*Echinarachnius parma*). Après avoir enlevé ces organismes, on se retrouve encore avec une dominance des détritivores de surface comme le bivalve *Tellina agilis* et le polychète *Spiophanes bombyx* abondants dans les zones de référence. Les carnivores viennent souvent au deuxième rang avec *Nephtys bucera* en tête sauf dans la zone C où les filtreurs sont mieux représentés. Ces derniers, composés en grande partie par le cumacé *Pseudoleptocuma minor* et par le bivalve *Arctica islandica*, sont abondants dans les zones monticulaires.

On note certains changements dans les communautés benthiques comme la baisse de 1997 à 2001 des densités du bivalve détritivore de surface *Tellina agilis* de la zone de référence D au profit du bivalve filtreur *Spisula solidissima*. Il est probable qu'à l'époque, les conditions étaient favorables (présence de diatomées benthiques ou de micro-organismes) aux détritivores de surface comme en fait foi la forte abondance de l'échinoderme *Echinarachnius parma* surtout dans les zones où les sédiments étaient plus fins, soit les zones de référence. L'abondance du bivalve *Spisula solidissima* en 2001 peut s'expliquer par une année de fort recrutement larvaire à comparer à 1997 où cette espèce était moins bien représentée. Ce bivalve connaît en effet des années de recrutement variables (Weissberger, 1998).

Tableau 6 Abondance relative (%) des invertébrés benthiques récoltés en 2001 dans les zones monticulaires et de référence selon leur mode d'alimentation

	Zones monticulaires			Zone de référence		
Mode d'alimentation	A	B	C	D	N	Z
Carnivores	14,9	16,5	6,2	9,7	10,6	8,5
Détritivores fouisseurs	1,6	1,3	2,0	3,9	3,7	4,3
Filtreurs	40,5	41,4	52,6	42,7	40,8	29,6
Détritivores de surface	43,0	40,8	39,2	43,7	45,0	57,5
Abondance totale (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3.3.3. Analyses multivariables

3.3.3.1. Changements temporels entre 1997 et 2001

Les analyses de redondance (RDA) montrent que les communautés de toutes les zones (monticulaires et de référence) changent de 1997 à 2001 (Figure 6). Dans l'ensemble, les communautés des zones A et B sont similaires entre elles mais elles diffèrent des zones C et D. La distribution des zones est la même en 1997 et en 2001, quoiqu'en 2001 la zone C se rapproche de A et B. La zone D, de son côté, ne semble pas se rapprocher des zones A et B.

3.3.3.2. Différences entre les zones

Que ce soit en 1997 ou en 2001, la zone D se différencie toujours des monticules (Figure 7 et Figure 8). La zone C, de son côté, a tendance à rejoindre les zones A et B. Il est intéressant de constater que la zone D qui était probablement similaire aux zones A, B et C avant l'immersion ne semble pas être le but de la reconstitution des communautés perturbées. En effet, ces communautés semblent vouloir retrouver un état d'équilibre avec des espèces différentes de celles de l'origine, ce qui signifie que la faune benthique des monticules ne deviendra probablement jamais similaire à celle présente aux sites de référence. Cela pourrait s'expliquer par la profondeur et la granulométrie des sédiments qui ont une influence sur les communautés benthiques. La profondeur des zones monticulaires a changé après l'immersion. Elles sont

maintenant moins profondes que les zones de référence sauf pour la zone Z (Tableau 4) qui elle aussi se différencie des zones monticulaires quant à sa communauté benthique (Figure 9). Du côté de la granulométrie, elle aussi a changé depuis l'immersion. On note au Tableau 4 que la proportion de sables fins (> 0,125 mm) est significativement plus forte dans les zones de référence. Les zones monticulaires ont probablement reçu des sables plus grossiers durant l'immersion ce qui a changé le milieu.

Ces dernières constatations sont toutefois nuancées par les résultats d'une RDA faite pour évaluer l'influence additionnelle des descripteurs physicochimiques sur les communautés. Cette analyse conclut que les variables physicochimiques ne contribuent que peu à l'explication de la structure des communautés benthiques en comparaison avec l'année d'immersion et la profondeur de la zone. Cette analyse a cependant été effectuée sur les différentes catégories granulométriques considérées séparément, et non sur les données groupées sous sables fins ou sables grossiers.

La zone N, site de la prochaine immersion, semble assez hétérogène avec le prélèvement N4 qui se démarque des autres (Figure 9). Cette zone a probablement connu des modifications suite au déversement de sédiments en 2002. La nature de ces changements reste cependant hypothétique. Nous pouvons toutefois prédire que la zone N se comportera comme la zone C après 1997, c'est-à-dire baisse temporaire des descripteurs synthétiques et rapprochement structurel avec la zone C puis la A et la B. L'Annexe E présente les données relatives aux analyses multivariables.

3.4. Temps de recouvrement

Le temps nécessaire à une communauté pour retrouver des paramètres synthétiques stables est supérieur à quatre ans puisque la zone C montre encore une communauté différente de B même si l'immersion a eu lieu quatre ans plus tôt en 1997. Cependant, le temps de recouvrement est probablement inférieur à 10 ans puisqu'en 2001, les communautés des zones A (créée en 1982) et B (créée en 1992) sont semblables. Cet état est cependant différent de celui des zones non perturbées. ABP Research (1999) mentionne que le temps de recouvrement des communauté benthiques des zones draguées est relativement long (allant jusqu'a 10 ans) dans les

milieux stables de sable à comparer avec des milieux plus dynamiques composés en partie de vase.

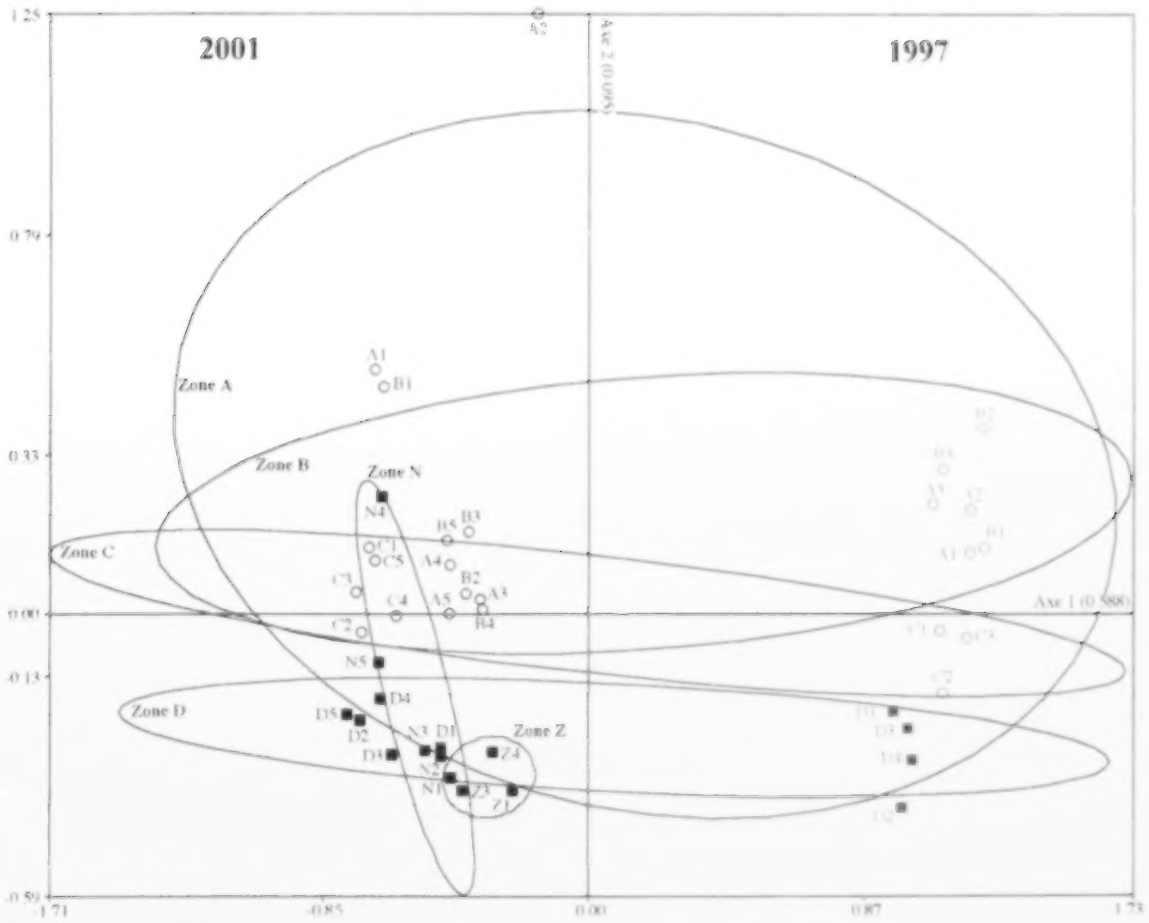


Figure 6 **Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques des campagnes de 2001 et de 1997 (cercles vides : monticules ; carrés pleins : zones de référence)**

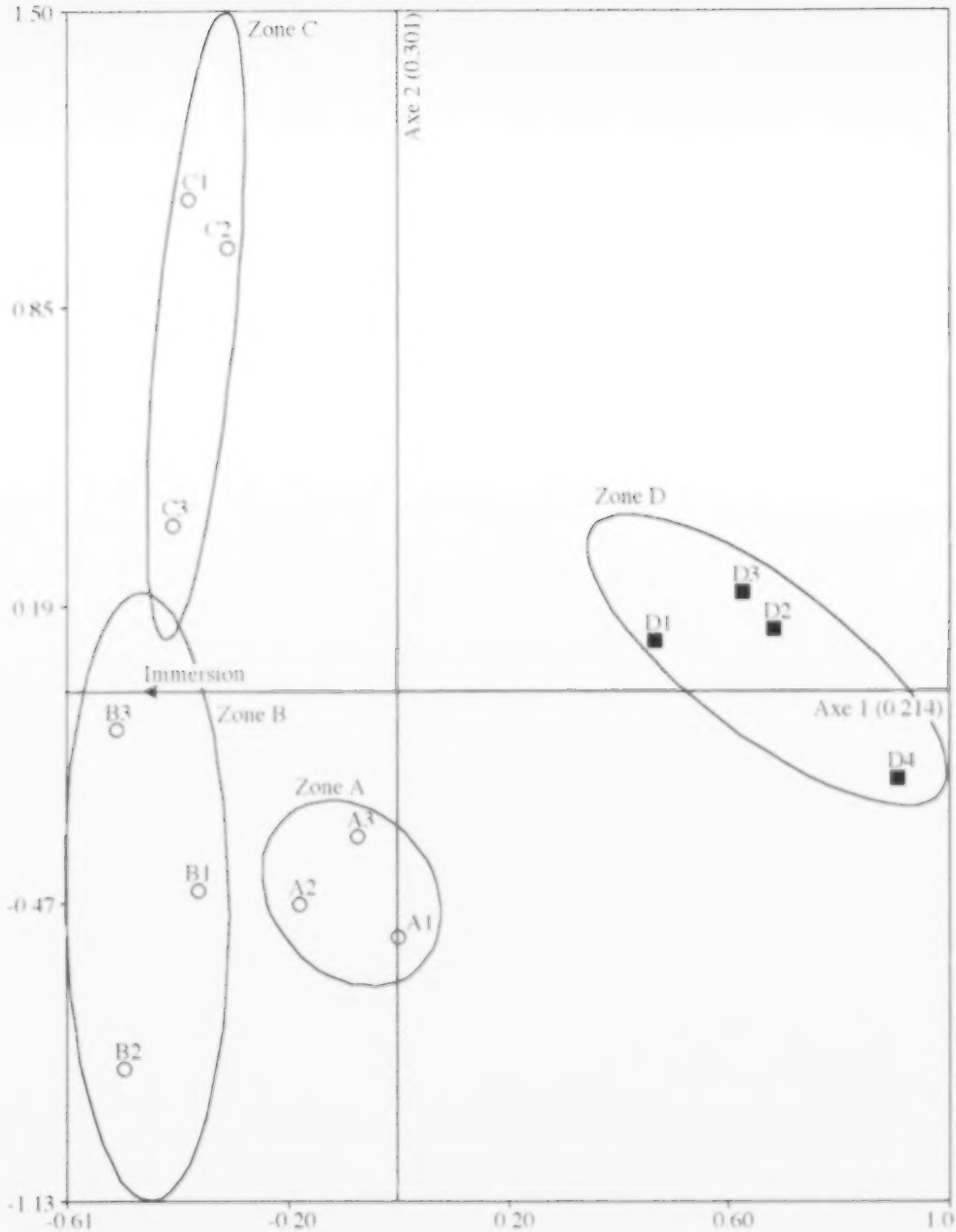


Figure 7 **Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 1997 (cercles vides : monticules ; carrés pleins : zones de référence). La seule variable de contrainte est la date de la dernière immersion.**

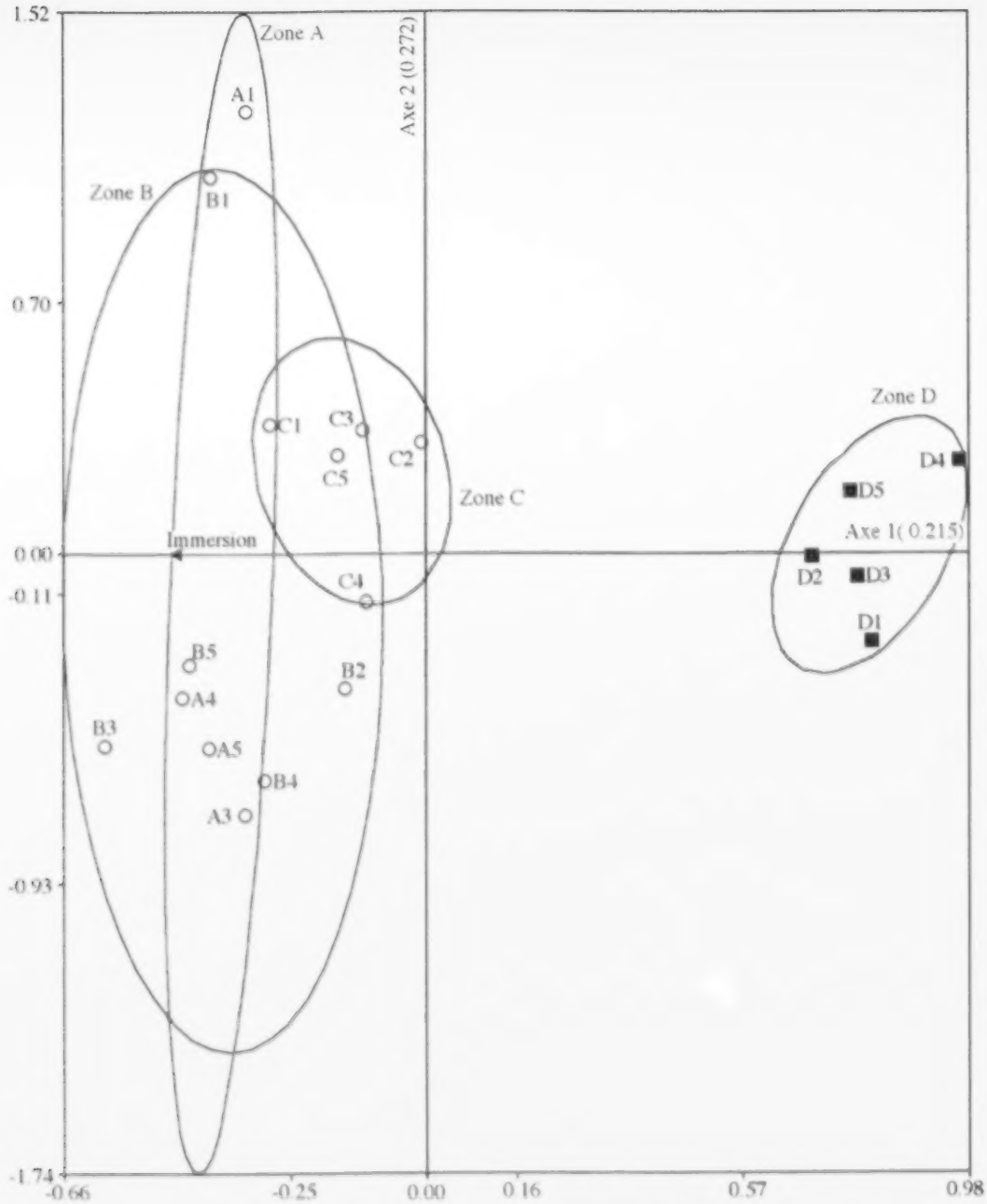


Figure 8 **Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 2001 (cercles vides : monticules ; carrés pleins : zones de référence). La seule variable de contrainte est la date de la dernière immersion.**

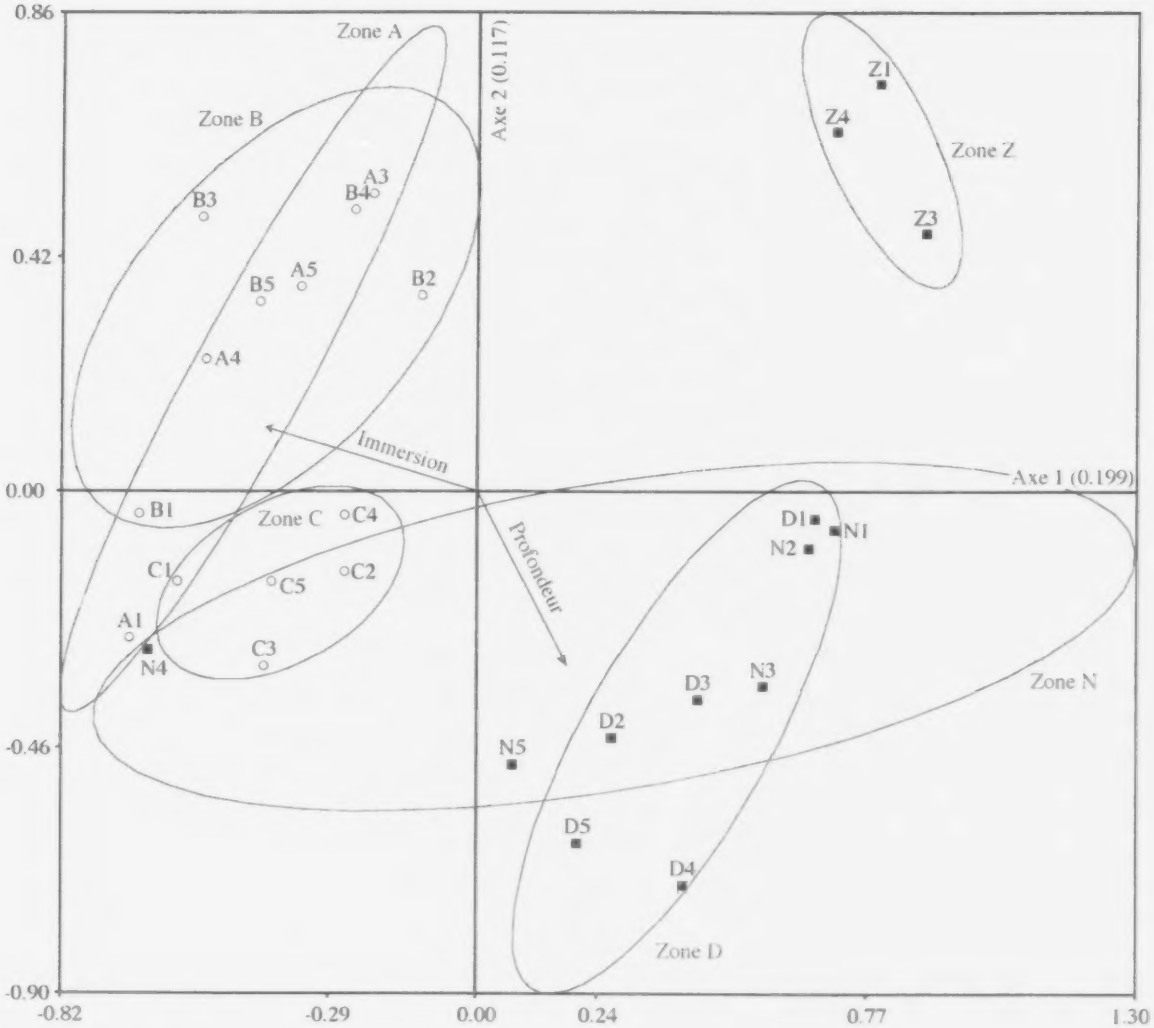


Figure 9 **Distribution des prélèvements sur les deux premiers axes de la RDA réalisée avec l'abondance des organismes benthiques de la campagne de 2001 (cercles vides : monticules ; carrés pleins : zones de référence). Les variables de contrainte sont la date de la dernière immersion et la profondeur.**

4. Conclusion et recommandations

La présente étude a permis de démontrer que les communautés touchées par l'immersion ont évolué de 1997 à 2001. En effet, la moyenne de la densité, diversité et régularité a changé significativement durant cette période. Les changements les plus marqués s'observent dans la zone C avec une forte augmentation des densités et une diminution de la diversité et de la régularité. Sur le plan multivariable, les communautés sont différentes d'une année à l'autre dans toutes les zones. L'ampleur de la différence entre les moyennes des descripteurs synthétiques des monticules et de la zone de référence D ne change pas de manière simple entre 1997 et 2001. On observe plus de différences significatives en 2001 qu'en 1997 où seule les fortes densités de la zone D se démarquaient. Sur le plan multivariable, on observe que l'écart entre les monticules et la zone D est resté à peu près le même en 2001 qu'en 1997, mais que l'écart entre C d'une part et A et B d'autre part a diminué. Ceci pourrait signifier que les communautés des zones qui ont subi une immersion ne redeviendront jamais, du moins dans la fenêtre temporelle visible par les données (1982-2001), comme celles de la zone de références D. Ceci s'explique en grande partie par les facteurs physicochimiques comme la profondeur et la granulométrie qui ont changé dans ces zones. Cela n'empêche pas ces zones de retrouver une communauté diversifiée et apparemment fonctionnelle. Le temps nécessaire à la communauté pour retrouver des paramètres synthétiques stables est supérieur à 4 ans mais probablement inférieur à 10 ans.

Si le suivi du dépôt D continue, les recommandations suivantes devraient être considérées pour permettre un suivi assorti d'analyses statistiques appropriées à la problématique :

- Prévoir un minimum de 5 sites par zone, afin de garantir une puissance adéquate des tests statistiques;
- Conserver toutes les zones A, B, C, N, D et Z;
- Lors du prochain rejet des sédiments au dépôt D, lequel pourrait avoir lieu en 2007, caractériser le benthos et analyser les variables physicochimiques pertinentes : (1) au lieu d'immersion, aussitôt que possible avant et après les activités de rejet, et (2) dans les déblais de dragage à bord de la drague;
- Conserver un rythme de 5 ans maximum pour le suivi; en effet, contrairement à ce que nous pensions au départ, il semble que les communautés mettent plusieurs années pour retrouver une certaine stabilité.

5. Références

Abbott, R. T. 1982. *Guide des coquillages de l'Amérique du Nord - Guide d'identification sur le terrain.* Marcel Broquet, La Prairie, Québec.

ABP Research. 1999. *Good practice guidelines for ports and harbours operating within or near UK marine Special Areas of Conservation.* English Nature, UK Marine SACs Project. 120 p.

Barnes, R.D. 1974. *Invertebrate zoology.* W.B. Saunders, Toronto, Ont.

Brunel, P., L. Bossé et G. Lamarche. 1998. Catalogue des invertébrés marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 126. 405 p.

Burton, J et G. Drapeau. 1981. *Étude et évaluation d'impact environnemental des activités d'immersion de déchets en mer au site de dépôt D situé aux Îles de la Madeleine.* Rapport final présenté à Environnement Canada, Comité aviseur des rejets en mer, Région du Québec par le Centre de recherches écologiques de Montréal, Université de Montréal. 83 pages.

Élouard, B., G. Desrosiers, J.C. Brêthes et Y. Vigneault, 1983. *Étude de l'habitat du poisson autour des îlots créés par des déblais de dragage; lagune de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine.* Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. No. 1209.

Enequist, P. 1949. *Studies on the soft-bottom amphipods of the Skagerak.* Zool. Bidrag Uppsala, 28 : 299-492.

Fauchald, K. et Jumars, P.A. 1979. *The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds.* Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 17 : 193-284.

Gosner, K.L. 1971. *Guide to identification of marine and estuarine invertebrates.* Wiley-Interscience, New York, N.Y.

Groupe Environnement Shooner inc., 1991. *Programme de dragage d'entretien du chenal maritime de Mines Seleine, Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine - Étude d'impact sur l'environnement du Québec.* Présenté par Société Canadienne de Sel Limitée. 311 p. + annexes.

Hargrave, B.T., G.A. Phillips, L.I. Doucete, M.J. White, T.G. Milligan, D.J. Wildish and R.E. Cranston. 1995. *Biogeochemical observations to assess benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture in the Western Isles region of the bay of Fundy, 1994.* Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. no. 2062. 159 p.

Harvey, M., D. Gauthier et J. Munro. 1998. *Temporal changes in the composition and abundance of the macro-benthic invertebrate communities at dredged material disposal sites in the*

Anse à Beaufils, Baie des Chaleurs, eastern Canada. Marine Pollution Bulletin 36 (1) : 41-55.

Lamberson J.O., Dewitt, T.H. et Swartz, R.C. 1992. *Assessment of sediment toxicity to marine benthos*. Dans : Sediment toxicity assessment. Édité par : G.A. Burton Lewis Publishers inc., Chelsea, Michigan. pp. 183-212.

Legendre, L. et P. Legendre, 1998. *Numerical ecology*. Second English Edition, Elsevier Science. Amsterdam.

Legendre, P. et E. D. Gallagher. 2001. *Ecologically meaningful transformations for ordination of species data*. Oecologia 129: 271-280.

Loring, D.H.et Rantala, R.T.T. 1992. *Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. Earth-Science Reviews 32: 235-283.

Pocklington, P. 1989. *Polychaetes of eastern Canada. An illustrated key to polychaetes of eastern Canada including the eastern arctic*. Project funded by Ocean dumping control act research fund, National museums of Canada, Department of Fisheries and Oceans. 274 p.

Shannon, C.E. et W. Weaver, 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, Illinois. 117 p.

St-Laurent, D., R. Chabot, M. Provencher, M. Douville et C. Côté. 2000. *Suivi environnemental au dépôt D des déblais de dragage du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec (1997) – Évaluation chimique et biologique*. Rapport produit en collaboration par Environnement Canada et BEAK International inc. pour Environnement Canada, Région du Québec, Direction de la protection de l'environnement, 71 p. et annexes.

Weissberger, E.J. 1998. *The effect of predation on recruitment of the surfclam* Spisula solidissima. Thèse de doctorat. Rutgers University, NJ. 148p.

Wihlm, J.L. 1970. Range of diversity in benthic macroinvertebrate populations. J. Wat. Pollut. Control Fed. 42 : 221-224.

ANNEXES

Annexe A **Rapport de mission. Échantillonnage de sédiments pour la caractérisation de la faune benthique, octobre 2001**

ENVIRONNEMENT CANADA – RÉGION DU QUÉBEC
DIRECTION DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MONTRÉAL, QUÉBEC

Programme d'immersion en mer

Suivi environnemental du lieu d'immersion dépôt D, Îles de la Madeleine

RAPPORT DE MISSION

Échantillonnage de sédiments pour la caractérisation de la faune benthique, octobre 2001

Préparé par Raymond Chabot

Novembre 2001

Environnement Canada
Environment Canada

CONTEXTE

Le suivi environnemental effectué dans le cadre du Programme d'immersion en mer a pour objectif de s'assurer que les activités d'immersion de matières draguées n'entraînent pas d'effets dommageables pour l'environnement. Dans le cadre des activités de surveillance environnementale des sites d'immersion en mer, Environnement Canada réalise des travaux de caractérisation à des sites choisis. Le lieu d'immersion étudié en 2001 est le dépôt D qui a reçu les sédiments dragués du chenal de la Grande Entrée aux Îles de la Madeleine en 1980-81-82, 1992 et 1997 et qui a déjà fait l'objet d'un suivi environnemental en 1997.

HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Les hypothèses à vérifier sont les suivantes :

1) La moyenne des variables mesurées dans les monticules et la zone de référence a-t-elle changée depuis l'étude de 1997 ?

2) L'ampleur de la différence entre la moyenne des variables mesurées dans les monticules et celle de la zone de référence a-t-elle changée ?

3) Les moyennes dans les 3 monticules sont-elles inférieures à celles des autres zones (i.e. zone de réf. de 1997, nouvelle zone de réf. et zone de dépôt 2002) ?

4) La moyenne de la zone de dépôt 2002 aura-t-elle changée par rapport à ce qu'elle sera après les rejets anticipés en 2002 ?

(Afin d'évaluer la succession des communautés au dépôt D lors des prochains suivis, le secteur prévu pour la prochaine activité d'immersion sera aussi échantillonné afin de caractériser le stade initial de la communauté benthique.)

N.B. Afin de pouvoir faire des comparaisons temporelles avec le suivi de 1997, les 3 stations des monticules 1982, 1992 et 1997, ainsi que 4 stations d'une zone de référence de 1997 seront échantillonnées de nouveau.

OBJECTIF DE LA CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE

Récolter, selon un plan d'échantillonnage établi, les échantillons marins nécessaires à la caractérisation du benthos et à l'évaluation de mesures physico-chimiques de soutien (granulométrie, COT, Potentiel Redox, azote ammoniacal et sulfures totaux) à 30 stations situées sur et près du dépôt D.

PÉRIODE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué entre le 16 et le 21 octobre 2001 inclusivement.

LOCALISATION DES STATIONS

En tout 28 stations (5 sur le monticule de 1982 (**A**), 5 sur celui de 1992 (**B**), 5 sur celui de 1997 (**C**), 5 dans le nouveau secteur qui sera utilisé pour les dépôt des sédiments qui seront dragués en 2002 (**N**), 5 dans le secteur de référence de 1997 (**D**) et 3 stations dans un nouveau secteur de référence (**Z**) ont été échantillonnées. Dans le secteur Z, deux des cinq stations étaient localisées sur un fond dur de telle sorte qu'il fut impossible de prélever des sédiments, et ce malgré plusieurs tentatives. Par conséquent, aucun échantillon ne fut obtenu pour les stations Z2 et Z5. La localisation des stations est donnée au Tableau 1.

MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué à bord d'un bateau de pêche de 40 pieds (le Pointe-Basse) appartenant à Alain Arseneau. Ce navire très spacieux, offre tout l'espace nécessaire pour mener à bien l'échantillonnage et le tamisage des sédiments. Le navire est équipé d'un treuil pour les manoeuvres avec la benne Van Veen ainsi que de stabilisateurs pour faciliter le travail lorsque la houle et les vagues sont importantes.

Positionnement

En raison de la dimension et de la configuration des zones de dépôt de même que des conditions d'échantillonnage en mer, le positionnement lors des prélèvements doit être très précis. Le système de positionnement qui a été utilisé permet une précision inférieure à 5 mètres. Il s'agit du DGPS Beacon Receiver, modèle GR-80 de Furuno. De plus, le DGPS était relié à un ordinateur portable de sorte que les coordonnées étaient affichées à l'écran. Une échosondeuse permettait de vérifier la nature du fond avant de lancer la benne.

Prélèvement des sédiments pour la physico-chimie

L'échantillonnage a été effectué à l'aide d'une benne Van Veen (0,1 m^2). La profondeur de pénétration de la benne était de plus de 10 cm. Deux à quatre litres de sédiment ont été récoltés à chaque station. L'eau non trouble sus-jacente à la surface des échantillons a été siphonnée doucement. Les échantillons ont été placés dans un sac de polyéthylène haute densité et mis dans un seau de polyéthylène proprement étiqueté. Les données relatives aux échantillons récoltés pour la physico-chimie sont présentées au Tableau 2.

Prélèvement des sédiments pour le benthos

L'échantillonnage a été effectué à l'aide de la même benne que pour la physico-chimie. À chaque station visitée, 3 échantillons d'au moins 2 litres de sédiments ont été prélevés. La profondeur de pénétration de la benne a été mesurée pour chaque échantillon afin de pouvoir quantifier les volumes des échantillons. Chaque échantillon a ensuite été tamisé

sur un tamis de 0,5 mm. Le refus du tamis a été transféré dans des pots Nalgene pré-étiquetés et bien identifiés (no de station, nb de pots par station, date) puis fixés dans du formol à 10 %. Le transfert dans l'alcool 70 % s'est fait dans les 12 à 24 heures qui suivaient.

Paramètres de support

La position donnée par le DGPS (latitude, longitude) et la profondeur ont été notées à chaque station. La température, le pH et la salinité de l'eau prélevée en deçà de 1 mètre environ au-dessus des sédiments ont été mesurées à au moins une station d'échantillonnage dans chaque monticule ou secteur de référence. La température et le pH ont été mesurés à l'interface sédiment-eau dès la remontée du sédiment à chaque station. Des éléments comme la vitesse et la direction du vent ainsi que la lecture du disque de Secchi ont également été notés. Les données relatives aux paramètres de support sont présentées au Tableau 3.

Traitement des échantillons pour la physico-chimie

Le contenu des sacs de polyéthylène a été vidé dans les seaux qui les contenaient. Les gros morceaux (organismes, roches ou autres) ont été enlevés des sédiments. À l'aide d'une spatule, les sédiments ont été grossièrement mélangés.

Un agitateur conçu avec une perceuse électrique et un crochet de 10 cm de longueur a été préparé pour effectuer l'homogénéisation. Pour ce, le crochet a été rincé à l'eau du robinet, pour être ensuite plongées dans de l'eau distillée. Ce nettoyage a été effectué avant l'homogénéisation de chaque échantillon.

L'homogénéisation des sédiments a été effectuée en promenant l'agitateur dans tout l'échantillon. Cette opération a duré 1½ à 2 minutes, soit le temps que le mélange devienne uniforme. L'échantillon homogénéisé a été réparti dans les pots désignés pour les différentes analyses. Les données concernant les échantillons sont compilées sur des formulaires appropriés. Seuls les sous-échantillons pour l'analyse du COT ont été congelés, les autres contenants ont été entreposés à 4 °C jusqu'à leur transport vers un laboratoire. Les sous-échantillons pour l'analyse du potentiel Redox, les sulfures totaux et l'azote ammoniacal ont été expédiés par avion au laboratoire de Ken Doe à Moncton le 23 octobre. Les échantillons sont arrivés le jour même à 2 °C. Les sous-échantillons pour l'analyse de la granulométrie ainsi que ceux pour l'analyse du COT ont été mis sur l'avion qui ramenait l'équipe de terrain le 23 octobre. À l'arrivée aux bureaux d'EC, ils étaient encore en très bon état (i.e. les échantillons destinés à l'analyse du COT étaient congelés et ceux destinés à l'analyse granulométrique étaient à < 4 °C).

PROBLÈMES RENCONTRÉS

Les principaux problèmes rencontrés au cours de la mission d'échantillonnage sont reliés à la météo. Lorsque le vent souffle à 30 km/h et plus, les conditions d'échantillonnage sont beaucoup plus difficiles. Il arrive à un moment de la journée que les courants de

marée sont dans la direction opposée au vent ce qui complique le positionnement du bateau et qui rend la descente verticale de la benne très ardue.

Le fond dur observé dans les zones A et Z nous a obligés à changer quelques stations. Après plusieurs essais infructueux de prélèvement, nous avons décidé de trouver de nouvelles stations en nous servant de l'échosondeuse qui nous permettait de délimiter les aires caractérisés par un fond meuble. Au total, 4 stations ont été relocalisées et 2 stations n'ont pas été échantillonnées (voir Tableau 1 et Tableau 2).

Tableau 1 Position et profondeur des stations de benthos

Station-Échantillon	Date	Heure	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Prodondeur [†](m)	Pénétration de la benne (cm)	Commentaires relatifs aux sédiments [§]	Commentaires relatifs au benthos [‡]	Autres Remarques
A1-A	16-oct	10:40	47° 30,934	47° 30,928	61° 36,275	61° 36,287	11,2	10	un peu de gravier + débris de coquilles	*Ensis directus*	borax ajouté à l'échantillon formolé
A1-B	16-oct	11:30	"	47° 30,930	"	61° 36,275	11,0	12	traces d'anoxie		
A1-C	16-oct	11:45	"	47° 30,936	"	61° 36,284	-	20	traces d'anoxie		
A2-A	16-oct	13:08	47° 30,934	47° 30,931	61° 36,220	61° 36,198	10,2	19	traces d'anoxie		
A2-B	16-oct	13:22	"	47° 30,937	"	61° 36,197	10,1	20	traces d'anoxie		
A2-C	16-oct	13:40	"	47° 30,932	"	61° 36,195	9,7	20	traces d'anoxie		
A3 *	21-oct	7:45	47° 30,897	47° 30,897	61° 36,166	61° 35,978	10,3	12	sable rouge, cailloux		Coordonnées originales fond dur
A3-A	21-oct	17:55	"	47° 30,989	"	61° 36,134	10,1	17		*Ammodytes dubius*	Nouvelles coordonnées
A3-B	21-oct	18:10	"	47° 30,990	"	61° 36,135	10,2	18	anoxie	*Ammodytes dubius*	
A3-C	21-oct	18:20	"	47° 30,989	"	61° 36,133	10,1	14			Petit échantillon
A4-A *	21-oct	9:40	47° 30,970	47° 30,993	61° 36,275	61° 36,253	10,4	15	anoxie		Coordonnées originales fond dur
A4-B	21-oct	9:50	"	47° 30,990	"	61° 36,251	10,4	18	traces d'anoxie		
A4-C	21-oct	10:00	"	47° 30,989	"	61° 36,253	10,4	17	traces d'anoxie		
A5-A *	21-oct	9:05	47° 30,934	47° 30,980	61° 36,058	61° 35,718	10,0	10	traces d'anoxie		Coordonnées originales fond dur
A5-B	21-oct	9:10	"	47° 30,979	"	61° 35,720	10,0	13	traces d'anoxie		
A5-C	21-oct	9:20	"	47° 30,980	"	61° 35,718	10,0	15	traces d'anoxie		
B1-A	16-oct	14:04	47° 31,050	47° 31,051	61° 36,162	61° 36,153	9,7	17	traces d'anoxie + odeurs H2S		
B1-B	16-oct	14:11	"	47° 31,050	"	61° 36,157	9,8	17		*Hippoglossoides platessoides*	
B1-C	16-oct	14:28	"	47° 31,046	"	61° 36,159	9,9	20	anoxie		
B2-A	16-oct	14:45	47° 31,050	47° 31,048	61° 36,106	61° 36,104	9,2	15	matières organiques + odeurs H2S	bcp gastéropodes	
B2-B	16-oct	15:00	"	47° 31,046	"	61° 36,105	9,3	16	traces d'anoxie	*Hippoglossoides platessoides*	
B2-C	16-oct	15:05	"	47° 31,048	"	61° 36,106	9,4	15			
B3-A	19-oct	17:45	47° 31,012	47° 31,012	61° 35,994	61° 35,995	-	15	traces d'anoxie	*Crangon*	

Station-Échantillon	Date	Heure	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Prodondeur [†](m)	Pénétration de la benne (cm)	Commentaires relatifs aux sédiments [§]	Commentaires relatifs au benthos [‡]	Autres Remarques
										septemspinosa	
B3-B	21-oct	10:10	"	47° 31,012	"	61° 35,994	10,3	14	traces d'anoxie	*Ammodytes dubius*	
B3-C	21-oct	10:20	"	47° 31,011	"	61° 35,994	10,3	18			Le bac a débordé
B4-A	21-oct	10:30	47° 31,088	47° 31,088	61° 36,106	61° 36,106	9,9	17	traces d'anoxie	*Cancer irroratus* +*Ensis directus*	
B4-B	21-oct	10:40	"	47° 31,088	"	61° 36,104	9,9	18	traces d'anoxie		
B4-C	21-oct	10:45	"	47° 31,088	"	61° 36,105	9,9	18			
B5-A	21-oct	11:05	47° 31,012	47° 31,012	61° 36,050	61° 36,050	10,0	17	anoxie + cailloux + matière organique noire		
B5-B	21-oct	11:15	"	47° 31,011	"	61° 36,050	10,0	18	anoxie + cailloux		
B5-C	21-oct	11:20	"	47° 31,011	"	61° 36,050	10,0	17			
C1-A	16-oct	15:14	47° 31,169	47° 31,168	61° 36,002	61° 36,004	10,4	15	anoxie	*Pandora ?*	
C1-B	16-oct	15:22	"	47° 31,168	"	61° 36,003	10,6	15		*Hippoglossoides platessoides*	
C1-C	16-oct	15:30	"	47° 31,168	"	61° 36,002	10,5	19	anoxie		
C2-A	16-oct	15:45	47° 31,169	47° 31,162	61° 35,955	61° 35,954	10,2	15	très anoxique + odeur H2S		
C2-B	16-oct	16:00	"	47° 31,169	"	61° 35,953	10,1	15	odeur H2S + débris de matière organique noire		
C2-C	16-oct	16:20	"	47° 31,168	"	61° 35,954	10,3	17	odeur H2S + débris de matière organique noire + cailloux		
C3-A	19-oct	17:20	47° 31,152	47° 31,152	61° 35,979	61° 35,980	10,6	10	sable + grossier		
C3-B	21-oct	11:30	"	47° 31,152	"	61° 35,979	11,0	15	anoxie		
C3-C	21-oct	11:40	"	47° 31,154	"	61° 35,979	11,1	17	anoxie		
C4-A	21-oct	11:45	47° 31,201	47° 31,201	61° 35,979	61° 35,979	11,1	18	traces d'anoxie + traces de débris noirs		
C4-B	21-oct	11:55	"	47° 31,202	"	61° 35,980	11,3	17	traces d'anoxie + traces de débris noirs		
C4-C	21-oct	12:05	"	47° 31,201	"	61° 35,978	11,1	15	traces d'anoxie + traces de débris noirs		
C5-A	21-oct	13:00	47° 31,152	47° 31,152	61° 35,931	61° 35,931	11,4	16	très anoxique		

Station-Échantillon	Date	Heure	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Prodondeur [†](m)	Pénétration de la benne (cm)	Commentaires relatifs aux sédiments [§]	Commentaires relatifs au benthos [‡]	Autres Remarques
C5-B	21-oct	13:05	"	47° 31,152	"	61° 35,929	11,3	15	très anoxique		
C5-C	21-oct	13:10	"	47° 31,150	"	61° 35,930	11,4	17			
N1-A	19-oct	11:05	47° 31,492	47° 31,492	61° 35,940	61° 35,939	12,6	15	traces d'anoxie + odeurs H2S		
N1-B	19-oct	11:30	"	47° 31,492	"	61° 35,939	12,6	16	traces d'anoxie + odeurs H2S		
N1-C	19-oct	11:45	"	47° 31,493	"	61° 35,941	12,5	15	anoxie + odeurs H2S + débris noirs		
N2-A	19-oct	11:55	47° 31,427	47° 31,426	61° 35,844	61° 35,842	12,8	15	traces d'anoxie + odeurs H2S		
N2-B	19-oct	12:05	"	47° 31,427	"	61° 35,844	12,7	18	traces d'anoxie + odeurs H2S		
N2-C	19-oct	12:30	"	47° 31,426	"	61° 35,843	12,8	20	traces d'anoxie + odeurs H2S		
N3-A	21-oct	13:20	47° 31,362	47° 31,362	61° 35,556	61° 35,556	13,1	15	anoxie		
N3-B	21-oct	13:25	"	47° 31,360	"	61° 35,557	13,2	13	anoxie	1 Gros *Arctica islandica* +bcp de polychètes	
N3-C	21-oct	13:35	"	47° 31,360	"	61° 35,556	13,1	14	anoxie		
N4-A	21-oct	13:45	47° 31,297	47° 31,297	61° 36,036	61° 36,035	12,6	15	traces d'anoxie		
N4-B	21-oct	13:50	"	47° 31,298	"	61° 36,036	12,7	15	traces d'anoxie		
N4-C	21-oct	13:55	"	47° 31,296	"	61° 36,036	12,7	18	très anoxique + débris noirs		
N5-A	21-oct	14:10	47° 31,297	47° 31,296	61° 35,844	61° 35,844	13,0	14			Le bac a débordé
N5-B	21-oct	14:15	"	47° 31,295	"	61° 35,845	13,0	14	anoxie + débris noirs		
N5-C	21-oct	14:25	"	47° 31,296	"	61° 35,844	13,0	15			
D1-A	19-oct	15:50	47° 31,409	47° 31,409	61° 35,064	61° 35,066	12,5	15	traces d'anoxie		
D1-B	19-oct	16:05	"	47° 31,410	"	61° 35,063	12,5	10	anoxie + odeurs H2S		petit échantillon
D1-C	19-oct	16:15	"	47° 31,411	"	61° 35,063	12,5	15	traces d'anoxie		
D2-A	19-oct	16:30	47° 31,320	47° 31,320	61° 35,151	61° 35,151	12,6	15			
D2-B	19-oct	16:40	"	47° 31,318	"	61° 35,149	12,7	13			

Station-Échantillon	Date	Heure	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Prodondeur [†](m)	Pénétration de la benne (cm)	Commentaires relatifs aux sédiments [§]	Commentaires relatifs au benthos [‡]	Autres Remarques
D2-C	19-oct	16:45	"	47° 31,322	"	61° 35,153	12,8	12			
D3-A	21-oct	14:45	47° 31,320	47° 31,321	61° 35,063	61° 35,065	13,3	14	anoxie		
D3-B	21-oct	14:55	"	47° 31,320	"	61° 35,065	13,3	16	anoxie	*Euspira (Lunatia) heros*	
D3-C	21-oct	15:10	"	47° 31,319	"	61° 35,064	13,3	15			Le bac a débordé
D4-A	21-oct	15:30	47° 31,290	47° 31,291	61° 35,107	61° 35,106	13,4	15	traces d'anoxie + débris noirs		
D4-B	21-oct	15:35	"	47° 31,290	"	61° 35,107	13,3	15	traces d'anoxie		Le bac a débordé
D4-C	21-oct	15:40	"	47° 31,292	"	61° 35,107	13,3	16	anoxie		
D5-A	21-oct	15:45	47° 31,422	47° 31,422	61° 34,998	61° 34,998	12,9	15	traces d'anoxie		Le bac a coulé un peu
D5-B	21-oct	15:55	"	47° 31,423	"	61° 34,998	12,9	15	anoxie		
D5-C	21-oct	16:10	"	47° 31,423	"	61° 34,999	13,0	-			Coordonnées originales fond dur
Z1-A *	21-oct	16:30	47° 31,922	47° 31,861	61° 36,111	61° 36,209	10,0	15	anoxie		
Z1-B	21-oct	16:40	"	47° 31,863	"	61° 36,210	10,0	15	traces d'anoxie		Le bac a coulé un peu
Z1-C	21-oct	16:45	"	47° 31,861	"	61° 36,209	10,0	15	odeur H2S	*Echinarachnius parma* cassé en deux pour qu'il puisse entrer dans le pot	
Z2			47° 31,877		61° 36,296			0	fond dur ; aucune pénétration de la benne ; aucun sédiment prélevé		
Z3-A	19-oct	14:10	47° 31,877	47° 31,877	61° 36,222	61° 36,222	9,9	17	traces d'anoxie		
Z3-B	19-oct	14:20	"	47° 31,877	"	61° 36,220	10,0	18	traces d'anoxie + débris noirs		
Z3-C	19-oct	14:30	"	47° 31,876	"	61° 36,219	10,0	18	traces d'anoxie		
Z4-A	19-oct	14:40	47° 31,877	47° 31,877	61° 36,185	61° 36,186	10,0	18			
Z4-B	19-oct	14:50	"	47° 31,878	"	61° 36,185	9,9	15	traces d'anoxie		
Z4-C	19-oct	15:00	"	47° 31,877	"	61° 36,185	9,9	15	traces d'anoxie		

Station-Échantillon	Date	Heure	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Prodondeur [†](m)	Pénétration de la benne (cm)	Commentaires relatifs aux sédiments [§]	Commentaires relatifs au benthos [‡]	Autres Remarques
Z5			47° 31,855		61° 36,296			0	fond dur ; aucune pénétration de la benne ; aucun sédiment prélevé		

* Coordonnées originales fond dur.
† Ajuster la profondeur en fonction de l'heure des marées.
§ Le sédiment est toujours principalement constitué de sable.
‡ Les poissons et crabes ont été rejetés à l'eau ; les autres organismes mentionnés dans cette colonne sont restés dans l'échantillon. Il faudrait vérifier la matrice de données brutes pour s'assurer que ces taxons y figurent sinon il faudra les y ajouter.

Tableau 2 Position, profondeur des stations de physico-chimie

Station-Échantillon	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Interface eau-sédiments		Profondeur (m)	Date	Commentaires
					Température	pH			
A1	47° 30,934	47° 30,934	61° 36,275	61° 36,279	12,5	8,05	11,0	16-oct-01	Présence de cailloux
A2	47° 30,934	47° 30,933	61° 36,220	61° 36,195	13	8,05	9,7	16-oct-01	
A3*	47° 30,896	47° 30,990	61° 36,166	61° 36,134	13,4	8,08	10,1	21-oct-01	
A4*	47° 30,970	47° 30,991	61° 36,275	61° 36,253	-	-	10,3	21-oct-01	Débris noirs
A5*	47° 30,934	47° 30,978	61° 36,058	61° 35,719	10	7,78	10,0	21-oct-01	
B1	47° 31,050	47° 31,052	61° 36,162	61° 36,160	13	7,96	10,1	16-oct-01	
B2	47° 31,050	47° 31,049	61° 36,106	61° 36,106	13	8,13	9,5	16-oct-01	
B3	47° 31,012	47° 31,011	61° 35,994	61° 35,995	10	7,7	10,3	21-oct-01	
B4	47° 31,088	47° 31,088	61° 36,106	61° 36,106	-	-	9,9	21-oct-01	
B5	47° 31,012	47° 31,012	61° 36,050	61° 36,049	-	-	10,0	21-oct-01	
C1	47° 31,169	47° 31,167	61° 36,002	61° 36,005	-	-	10,6	16-oct-01	
C2	47° 31,169	47° 31,170	61° 35,955	61° 35,953	-	-	10,2	16-oct-01	
C3	47° 31,152	47° 31,155	61° 35,979	61° 35,980	10,8	8,08	11,0	21-oct-01	
C4	47° 31,201	47° 31,200	61° 35,979	61° 35,979	11,4	8	11,1	21-oct-01	Éch. testé en duplicata
C5	47° 31,152	47° 31,153	61° 35,931	61° 35,931	10,6	8,05	11,4	21-oct-01	Débris noirs
N1	47° 31,492	47° 31,491	61° 35,940	61° 35,940	11	7,98	12,5	19-oct-01	
N2	47° 31,427	47° 31,427	61° 35,844	61° 35,844	10,7	7,95	12,8	19-oct-01	Matières en décomposition (débris noirs)
N3	47° 31,362	47° 31,361	61° 35,556	61° 35,559	10,9	7,9	13,2	21-oct-01	Éch. testé en duplicata, débris noirs
N4	47° 31,297	47° 31,297	61° 36,036	61° 36,035	10,7	8,05	12,6	21-oct-01	Débris noirs
N5	47° 31,297	47° 31,297	61° 35,844	61° 35,845	10,6	8,04	13,1	21-oct-01	Débris noirs

Station-Échantillon	Latitude prévue	Latitude réelle	Longitude prévue	Longitude réelle	Interface eau-sédiments		Profondeur (m)	Date	Commentaires
					Température	pH			
D1	47° 31,409	47° 31,410	61° 35,064	61° 35,064	10,5	8,02	12,5	19-oct-01	petit échantillon +traces de débris de zostères
D2	47° 31,320	47° 31,320	61° 35,151	61° 35,151	11,3	8,08	12,6	19-oct-01	Éch. testé en duplicata
D3	47° 31,320	47° 31,320	61° 35,063	61° 35,066	11,1	8,1	13,3	21-oct-01	Anoxique +débris noirs + odeur H2S
D4	47° 31,290	47° 31,290	61° 35,107	61° 35,106	10,9	8,01	13,3	21-oct-01	Très anoxique
D5	47° 31,422	47° 31,422	61° 34,998	61° 34,998	11,1	8,1	13,0	21-oct-01	Débris noirs
Z1*	47° 31,922	47° 31,862	61° 36,111	61° 36,210	11,3	7,96	10,0	21-oct-01	
Z3	47° 31,877	47° 31,878	61° 36,222	61° 36,222	11	8,03	9,9	19-oct-01	
Z4	47° 31,877	47° 31,877	61° 36,185	61° 36,185	11,5	8,08	9,9	19-oct-01	

*Nouvelles coordonnées car stations originales situées sur un fond dur.

Tableau 3 Autres paramètres mesurés lors de l'échantillonnage

Monticule ou Zone	Date	Eau au-dessus des sédiments			Vents		Secchi (m)
		Température (°C)	pH	Salinité (‰)	Direction	Vitesse (km/h)	
A	2001-10-16	13	8,16	27,7	O	15-20	8
B	2001-10-21	10,9	8,1	27,8	NO	20	8,25
C	2001-10-21	11	8,1	27,6	NO	20	8,25
N	2001-04-19	11,1	8,08	27,6	O	45	8,25
D	2001-04-19	11,3	8,12	27,9	O-NO	30	8,25
Z	2001-10-19	11,2	8,08	27,8	O-NO	30	8,25

Annexe B Rapport d'analyse. Caractérisation de la faune benthique récoltée sur le dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine

Laboratoires

SAB inc.

Référence KM351-1-7841
SAB: 101232

CARACTÉRISATION DE LA FAUNE BENTHIQUE RÉCOLTÉE SUR LE SITE DE DÉPÔT D AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Rapport final

présenté à

Programme d'immersion en mer
Direction de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Région du Québec

par

Bernadette Jacquaz
Laboratoires SAB inc.

Mars 2002

Laboratoires SAB inc.
1166 Saint-Laurent
Longueuil, Québec J4K 1E3
Téléphone 450-463-9666
Télécopieur 450-463-1458
courrier électronique labsab@bellnet.ca

Laboratoires SAB inc.

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Bernadette Jacquaz (M.Sc.)	Chargée de projet et taxonomie
Miren Prieto (M.Sc. en cours)	Taxonomie et contrôle de qualité
France Mongeau (M.Sc.)	Taxonomie
Mathieu Albanese (D.E.C.)	Tri
Myriam Chénier-Soulière (D.E.C.)	Tri
Valérie Guay (D.E.C.)	Tri et saisie des données
Jonathan Marceau (B.Sc.)	Tri

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE TRAVAIL ii

TABLE DES MATIÈRES iii

LISTE DES TABLEAUX iv

LISTE DES ANNEXES iv

1. INTRODUCTION 1

2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS 1

3. MÉTHODOLOGIE 3

3.1 Tri 3
3.2 Identification 4
3.3 Conservation des organismes 4
3.4 Saisie des données 4
3.5 Contrôle de qualité 4

4. RÉSULTATS 7

5. DOCUMENTS CONSULTÉS 12

ANNEXES 15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Niveau de précision taxinomique visé pour l'analyse des échantillons d'invertébrés benthiques.....6

Tableau 2. Nombre d'organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001.....8

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Liste des échantillons fractionnés lors du tri des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

Annexe 2. Notes taxinomiques pour l'analyse des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

Annexe 3. Collection de référence des organismes benthiques récoltés au dépôt D, Îles-de-la-Madeleine, en novembre 1997 et octobre 2001

Annexe 4. Résultats du contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

Annexe 5. Résultats de l'analyse de variabilité sur la méthode de fractionnement des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

1. INTRODUCTION

À la demande d'Environnement Canada, les Laboratoires SAB inc. ont réalisé un contrat portant sur l'analyse de benthos marin provenant du lieu d'immersion dépôt D des Îles-de-la-Madeleine. Le rapport qui suit présente la problématique et les objectifs du projet, la méthodologie employée et les résultats obtenus.

2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

Dans le cadre des activités de surveillance environnementale des sites d'immersion en mer, Environnement Canada réalise des suivis environnementaux après la mise en dépôt des déblais afin de vérifier que les activités d'immersion de matières draguées n'entraînent pas d'effets néfastes pour l'environnement. Parmi les outils utilisés, la caractérisation de la structure des communautés benthiques est considérée comme un outil important d'évaluation des répercussions environnementales sur les systèmes marins. Ces communautés sont, en effet, sensibles aux changements dans la qualité de l'eau et des sédiments et ils sont de bons indicateurs des effets pouvant affecter les niveaux supérieurs de la chaîne trophique.

À court terme, la principale conséquence de l'immersion de déblais de dragage est la perte d'effectifs et d'habitats pour les communautés benthiques. À plus long terme, la faune benthique recolonise le secteur mais le temps de rétablissement pour retourner à un état semblable à celui de la communauté initiale n'est pas connue. C'est dans le but de suivre l'évolution des communautés benthiques que le suivi a été entrepris au dépôt D, site d'immersion aux Îles-de-la-Madeleine. Ce site reçoit les déblais de dragage provenant de l'entretien du chenal de la Grande Entrée. Les dépôts de sédiments ont eu lieu de 1980 à 1982 puis en 1992 et en 1997. Le suivi a débuté à l'automne 1997 par la caractérisation des propriétés physico-chimiques, toxicologiques et benthiques des sédiments récoltés à ce site de dépôt (St-Laurent *et al.*, 2000).

Dans le cadre du suivi environnemental, la présente étude vise donc à analyser 84 échantillons récoltés à 28 stations au large du Havre de Grande-Entrée entre le 16 et le 21 octobre 2001. À chaque station 3 échantillons étaient prélevés à l'aide d'une benne Van Veen ($0,1 m^2$), puis filtrés sur un tamis de 500 µm. Les refus de tamis étaient ensuite fixés avec du formol à 10% et transférés dans de l'éthanol à 70 % de 12 à 24 heures plus tard.

Les objectifs de l'étude sont de :

a. Trier, identifier et dénombrer, au niveau taxinomique indiqué dans le Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papier (ESEE) en milieu marin (Environnement Canada, 1998), les organismes benthiques présents dans chaque échantillon de sédiments.
b. Dénombrer les organismes non identifiables.
c. Réaliser la saisie des résultats d'analyse sous forme de fichiers informatisés définis à partir du chiffrier Excel et valider l'information saisie.
d. Mettre à jour la collection de référence (d'invertébrés benthiques) réalisée lors de l'étude de suivi de 1997.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Tri

À chaque station, les trois échantillons prélevés ont été combinés avant d'être triés. Ceux-ci ont été lavés à l'eau claire au-dessus de tamis superposés ayant des ouvertures de maille de 2 mm (pour retenir les gros morceaux), 1 mm et 0,5 mm. Cette opération a été faite délicatement avec un faible jet d'eau courante afin de conserver les organismes intacts. La fraction retenue par le tamis 2 mm a été triée en totalité à l'aide d'une loupe éclairante, tandis que les fractions 1 mm et 0,5 mm a été triée à l'aide d'une loupe stéréoscopique. Tous les organismes ont été prélevés sauf les foraminifères (très petits organismes) qui ont été exclus de l'analyse en raison de la méthodologie qui n'est pas conçue pour l'échantillonnage de ce taxon. Leur présence a, tout de même, été notée. Les organismes ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxonomiques. Pour les spécimens incomplets, ceux ayant une tête dans le cas des némertes, des polychètes, des crustacés et des hémichordés, ou ceux dont la portion retrouvée composait plus de la moitié de l'individus dans le cas des mollusques ont été identifiés comme des individus, les autres ont été appelés morceaux. Les organismes ont ensuite été conservés dans l'éthanol à 70% glycériné jusqu'à l'identification plus poussée.

Étant donné la quantité de matériel retenue par le tamis de 1 et 0,5 mm, il a fallu procéder à un sous-échantillonnage de cette fraction pour s'assurer d'un temps de tri d'environ six à huit heures. La méthode utilisée était d'homogénéiser le refus du tamis dans un tamis à maille de 1 ou 0,5 mm selon le cas, d'en retirer l'eau et de diviser le substrat en deux à l'aide d'un séparateur de plastique. Cette démarche pouvait se répéter mais au moins 1/8 de l'échantillon était trié et au moins 100 organismes étaient prélevés. La liste des échantillons fractionnés est donnée à l'annexe 1. Le nombre d'organismes du sous-échantillon était ramené à l'échantillon total en multipliant par l'inverse de la fraction analysée puis en additionnant si nécessaire les organismes récoltés dans la fraction

grossière de l'échantillon (fraction de 2 mm). Les pots contenant les fractions non triées des échantillons ont été conservés pour une éventuelle vérification.

3.2 Identification

L'identification des organismes a été effectuée à partir de différents documents dont la liste est présentée dans la section 5. Les niveaux de précision taxinomique visés pour chaque grand groupe d'invertébrés sont présentés au tableau 1. Dans certains cas les spécimens n'ont pu être identifiés jusqu'au niveau taxinomique recommandé. L'annexe 2 donne des notes taxinomiques pour expliquer ces cas.

3.3 Conservation des organismes

Les spécimens identifiés ont été conservés dans l'alcool éthylique à 70 % glycériné dans des fioles séparées et bien identifiées. La collection de référence de 1997 a été mise à jour (identification complétée ou corrigée) et complétée avec 1 ou 2 spécimens pour chacun des nouveaux taxons. L'annexe 3 donne la liste des spécimens gardés en collection de référence.

3.4 Saisie des données

Les données de dénombrement ont été saisies dans un tableau sous format EXCEL énumérant les taxons (espèce, genre, famille et taxons supérieurs) sur les lignes, les échantillons en colonnes et les nombres dans les cellules.

3.5 Contrôle de qualité

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur trois échantillons déterminés au hasard (annexe 4). Ces derniers ont été retriés au complet par un autre technicien que celui d'origine. L'identification des organismes a été effectuée par une équipe de taxonomistes

qui se consultaient régulièrement pour résoudre des problèmes et valider leur détermination. Les spécimens gardés dans la collection de référence permettront de vérifier leur travail.

Tableau 1. Niveau de précision taxinomique visé pour l'analyse des échantillons d'invertébrés benthiques

Groupe	Niveau
Porifera	Classe
Cnidaria	Genre
Turbellaria	Genre
Nematoda	Phylum
Némertea	Genre
Sipuncula	Espèce
Brachiopoda	Genre
Bryozoa	Famille
Mollusca	
- Aplacophora	Genre
- Gastropoda	Espèce
- Bivalvia	Espèce
- Polyplacophora	Genre
- Scaphopoda	Espèce
Annelida	
- Polychaeta	Espèce
- Oligochaeta	Genre
Arthropoda	
- Pycnogonida	Famille
- Cephalocarida	Phylum
- Malacostrtaca	Espèce
- Copepoda	Phylum
- Cirripeda	Espèce
Ascidiacea	Famille
Echinodermata	Espèce

Tiré du *Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papiers*

Pour valider la méthode de partition, nous avons effectué une analyse de variabilité sur un échantillon. Pour ce, le tri de trois fractions a été effectué. Le coefficient de variation (100 x écart-type/moyenne ; Scherrer, 1984) était calculé alors à partir des nombres d'organismes récoltés dans les fractions. L'annexe 5 présente les résultats de cette analyse.

Nous avons porté une attention particulière à la vérification des données saisies sur ordinateur et nous nous sommes assurés de la correspondance entre les données recueillies sur les feuilles de tri et celles présentées dans le rapport. La méthode de validation utilisée consiste à saisir les données deux fois et d'ensuite comparer les deux tableaux entre eux en les soustrayant l'un à l'autre. Cela permet de déceler les erreurs.

4. RÉSULTATS

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse des 28 échantillons de benthos récoltés sur le dépôt D aux Iles de la Madeleine en octobre 2001.

Tableau 2. Nombre d'organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
FORAMINIFERA	36					6	2	4	2		10				116				5					48	69	4		
PLATYHELMINTHES																												
Turbellaria																												
Polycladida								1																				
NEMERTEA	2	78	33	4	4	8	15	11	6	12	6	7	6	17	16	12	12	16	24	10	8	12	13	9	16	9	7	7
NEMERTEA (morceaux)	24	67		1		12	3		6		3	2	5	6	7	5	2		7	4	8	2	5	6	11	4	7	6
NEMATODA						4					1					2									5		2	
MOLLUSCA																												
Bivalvia																												
Bivalvia (sans valve)																		8										
Arcticidae																												
Arctica islandica																			9			1	1					
Arctica / Mercenaria	4		3		1		2							8	2	8					4	4		8	24	1	12	4
Cardidae																												
Clinocardium ciliatum	1			1																							5	
Mactridae																												
Spisula soldissima	682	149	180	328	184	483	231	221	208	210	615	619	598	576	905	322	590	857	569	678	216	253	326	655	762	164	236	178
Mytilidae																												
Mytilus edulis			6	4	2	9	6	2	7	4		8		8	8	8	8	8		8	4	8				43	30	24
Nuculanidae																												
Nucula delphinodonta																		24										
Pandoridae																												
Pandora gouldiana	32			1		10			2		18		8			5	2	13	9	9	6		3	8		2		
Solenidae																												
Ensis directus	1			1		2	1		2	1	1				1			1						1	1			
Tellinidae																												
Tellina agilis	237	111	130	183	135	189	156	145	147	142	287	255	219	256	355	267	186	450	195	188	163	187	224	266	316	236	303	200
Veneridae																												
Mercenaria mercenaria					1											2		1		1	1	1	2	1		1		
GASTROPODA																												
Gastropode (morceaux)									2							1	2	2	2									
Gastropode sans coquille		1							1					1											1			
Capulidae																												
Capulus ungaricus ?		1																										
Nassariidae																												
Nassarius trivittatus	37	5	11	42	7	32	53	10	31	20	7	8	1	30	50	55	71	95	91	56	45	52	64	31	75	24	14	29
Naticidae																												
Euspira heros	11	12	8	11	7	9	10	8	16	9	12	2	6	6	3	2	4	2	5		3	1	3	4	3	5	5	6
Pyramidellidae																												
Turbonilla interrupta																										1	2	
Retusidae																												
Retusa obtusa															2											4	2	6
ANNELIDA																												
Polychaeta																												
Polychaeta (morceaux)	244	110	118	70	66	154	141	87	99	96	208	428	230	190	151	614	372	522	382	242	484	2	292	104	340	155	374	122
Ampharetidae																												
Ampharete finmarchica				1						1				2			2	3	4	3	12	12	1	3	7			

Tableau 2. Nombre d'organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001 (suite)

TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Capitellidae																												
Capitella capitata							2								2					1					2			
Cirratulidae																												
Tharyx acutus	8					3			2				8		8	12	5	7	11	6		4	6	7	19	7	4	6
Dorvilleidae																												
Parougia caeca					2				2					1		8			1						1			
Flabelligeridae																												
Pherusa affinis																					1							
Glyceridae																												
Glycera dibranchiata	23	4	10	15	3	15	5	3	10	3	3	13	18	15	14	25	25	35	32	27	26	24	27	14	32	20	18	16
Lumbrineridae																												
Scoletoma sp							1									4												
Scoletoma fragilis		2		1					1			1		1														
Scoletoma tetraura	4		3	5	2	11			2	2	4	24		5	2		6	4	5	2			3	7	17		6	
Maldanidae																	10	14		4		5	1		7	2	11	2
Maldanidae (morceaux)																	14	27	15	13	4	8	5		3	7	19	11
Clymenella torquata	4													4	5	4												
Nephtyidae																												
Nephtys bucera	85	85	46	47	37	58	47	79	70	44	36	31	50	44	48	78	38	54	28	25	108	27	29	37	42	24	29	27
Orbiniidae																	1		3					4			4	
Leitoscoloplos sp																					4			1	11			
Leitoscoloplos acutus					2					1			20	4	5									6	8	1	1	2
Leitoscoloplos fragilis				2		2	1			1	4	2	2	1	13		3	3	3		3	1	1					
Paraonidae															1	12	1	7	16	10			2		6			
Aricidea (Acesta) catherinae																	5				4							
Aricidea (Allia) suecica																		2	4	1	4		2		5	3	4	
Paraonis fulgens							2																					
Pectinariidae																						1						
Pectinaria granulata	1													1		1		1		1					2	1	1	
Pectinaria hyperborea																												
Pholoidae																	1									4		1
Pholoë tecta																	1		2				1		1			
Pholoë minuta/longa																												
Phyllodocidae																									1			
Phyllodocidae (morceaux)																									1			
Eteone flava														1	1		1	2		2		1	2		3	1		
Phyllodoce mucosa														1	2			2	1				1					
Phyllodoce c.f. mucosa																												
Sigalionidae																				1							1	
Sthenelais limicola																												
Spionidae																			1									
Polydora sp																												
Scolelepis (Scolelepis) squamata				1																								
Spiophanes bombyx	108	8	64	30	58	98	88	49	57	55	164	292	208	145	147	328	260	495	345	228	374	173	276	52	280	124	306	95
Spio setosa																											1	
Syllidae																												
Exogone hebes																8	7	5	2	5		4	2		2	1	4	2

Tableau 2. Nombre d'organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001 (suite)

TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Terebellidae																4	1	1		1				3				
Polycirrus c f eximius											3																	
Archiannellides (morceaux)																												
Polygordiidae																												
Polygordius sp	224	343				160	6	1		4	15	20	10	3	25	9	2	3	16	3	4	2	4	14	11		10	1
Polygordius sp (morceaux)	48	146				60	1	1		1		11	1				2		3	3	3	4		2	4			1
CRUSTACEA																												
Amphipoda																												
Ampeliscidae																					1							
Ampelisca vadorum																												
Aoridae																												
Unciola irrorata	1															5	2	5	2	4	1	4	4			1	7	13
Lysianassidae																												
Hippomedon serratus		1				1																						
Orchomenella pinguis						1																						
Psammonyx nobilis														1	1													
Oedicerotidae																												
Monoculodes edwardsi		2					1		1			1	1	1			1								1			
Phoxocephalidae																												
Phoxocephalus holbolli				1																				1				
Copepoda																												
Copepode (morceaux)												1																
Calanoida		8	19	8	25	16	9	9	4	9	11	32	7	1		16	19	3	5	6	4	10	4	4	1	21	29	13
Cumacea																												
Lampropidae																												
Lampros quadriplicata																	1											
Diastylidae																												
Diastylis polita																	2				1							
Oxyurostilis smithi																			1						1			
Pseudocumatidae																												
Pseudoleptocuma minor	1	2	3		1		2	2			1	5		2	1					1						1		
Decapoda																												
Decapoda (morceaux)					1																							
Caridea																												
Crangonidae																												
Crangon septemspinosa		1					1	1						1		2		1	3	2	3		1					
Isopoda																												
Cirolanidae																												
Cirolana polita		2	1							1				1														
Idoteidae																												
Edotia triloba				1			3	1	5				1	1	4	1		4	2		2		2	1 4	4	1	2	11
Ostracoda																												
Tanaidacea																												
Akanthophoreus c.f. gracilis														1														
ECHINODERMATA																												
Echinoidea																												
Echinarachnidae																												
Echinarachnius parma	7		4	10	2	10	17	9	10	2	7	8	8	20 3	15	19 6	5	18 22	16	17 2	11 3	4 8	15 5	26 1	15	18 18	37 3	27
Echinarachnius parma (morceaux)																												

Tableau 2. Nombre d'organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001 (suite)

TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Strongylocentrotidae				4		4			2	1	1				2		4		7	2								
Strongylocentrotus droebachiensis																					2				1			
Holothuroidea																							1					
Sp. A																												
Ophiuroidea																												
Ophiurae																												
Amphiuridea																												
Ophiopholis aculeata																												
HEMICHORDATA																												
Enteropneusta				1		1																						
PISCES																												
Ammodytidae																												
Ammodytes dubius		1																										
TOTAL	1825	1139	637	773	540	1358	806	644	695	619	1417	1770	1407	1358	1912	1845	1668	2717	1826	1566	1517	815	1328	1328	2111	908	1496	810

5. DOCUMENTS CONSULTÉS

Abbott, R.T. 1974. American seashells - The marine mollusca of the Atlantic and Pacific coasts of North America. Van Nostrand Reinhold Cie. Toronto. 663 p.

Abbott, R.T. 1982. Guide des coquillages de l'Amérique du Nord - Guide d'identification sur le terrain. Marcel Broquet, La Prairie. 288 p.

Appy, T.D., L.E. Linkletter et M.J. Dadswell. 1980. A guide to the marine flora and fauna of the bay of Fundy: Annelida: Polychaeta. Fisheries and Marine service technical report no. 920. 124 p.

Bousfield, E.L. 1960. Canadian Atlantic sea shells. National Museum of Canada. 72 p.

Bousfield, E. L. 1973. Shallow-water Gammaridean Amphipoda of New England. Comstock Publishing Association, Cornell Univ. Press, Ithaca and London. 312 p.

Brunel, P. 1960. Artificial key to the mysidacea of the Canadian Atlantic continental shelf. Can. J. Zool. 38: 851-855.

Brunel, P., L. Bossé et G. Lamarche. 1998. Catalogue des invertébrés marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Publ. Spéc. can. sci. halieut. aquat. 126. 405 p.

Environnement Canada. 1998. Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papiers. ESEE/1998/1.

Fauchald, K. 1977. The polychaetes worms - Definitions and keys to the orders, families and genera. Nat. Hist. Mus. of Los Angeles County, Sci. Ser. 28. 188 p.

Gaevskaya, N.S. 1948. Guide d'identification de la faune et de la flore des mers du Nord de l'URSS. Éditions d'État: La Science soviétique. Moscou. 740 p.

Gibson, R. 1982. British nemerteans. Synopses of the British fauna (no 24). Cambridge Univ. Press. 212 p.

Gosner, K.L. 1971. Guide to identification of marine and estuarine invertebrates. Wiley-Interscience, New York. 693 p.

Gosner, K.L. 1978. A field guide to the Atlantic seashore. The Peterson field guide series. Boston. 329 p.

Morris, P. A. 1951. A field guide to the shells of our Atlantic and Gulf coasts. The Peterson field guide series. Houghton Mifflin Company, Boston, Mass. 236 p.

Naylor, E. 1972. British marine isopods - Keys and notes for the identification of the

species.The Linnean Society of London. Academic Press. New York. 86 p.

Pawson, D.L. 1977. Marine Flora and Fauna of the Northeastern United States. Echinodermata : Holothuroidea. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report Circular 405. 15 p.

Pettibone, M.H. 1963. Marine polychaete worms of the New England region. 1. Aphroditidae through Trochochaetidae. Bull. U.S. Nat. Mus. 227: 1-356.

Pocklington, P. 1989. Polychaetes of eastern Canada. An illustrated key to polychaetes of eastern Canada including the eastern arctic. Project funded by Ocean dumping control act research fund, National museums of Canada, Department of Fisheries and Oceans. 274 p.

Ruppert, E.E. et R.D. Barnes 1994. Invertebrate zoology. Sixth edition. Saunders College Publishingcie, Toronto. 1056 p.

Sars, G.O. 1895. An account of the Crustacea of Norway. I. Amphipoda. Christiana & Copenhagen, 1: 1-711.

Sars, G. O. 1900. An account of the Crustacea of Norway. III. Cumacea. Bergen Museum, Bergen. pp. I-X, 1-115.

Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaétan Morin éditeur, Chicoutimi, Québec.850 p.

Schultz, G. A. 1969. The marine Isopod Crustacean. Wm. C. Brown Co. Publ., Dubuque, Iowa. 359 p.

Squires, H.J. 1990. Decapod crustacea of the Atlantic coast of Canada. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa. 532 p.

St-Laurent, D., R. Chabot, M. Provencher, M. Douville et C. Côté. 2000. Suivi environnemental au dépôt D des déblais de dragage du chenal de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec (1997) - Évaluation chimique et biologique. Rapport produit en collaboration par Environnement Canada et Beak International inc. pour Environnement Canada, Région du Québec, Direction de la protection de l'environnement, 71 p. et annexes.

Ushakov, P.V. 1955. Polychaeta of the far eastern seas of the U.S.S.R. Zoological Institute of the Academy of Sciences of the U.S.S.R. No. 56. 419 p.

Watling, L. 1979. Marine flora and fauna of the Northeastern United States. Crustacea: Cumacea. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report (NMFS Circular 423). 23 p.

ANNEXES

Annexe 1. Liste des échantillons fractionnés lors du tri des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

# Échantillon	Fraction de l'échantillon	Fraction des bivalves	Fraction des polychètes
A1 (500 et 1000 µm)	1/4		
A2 (500 µm)	1/8		
A3 (1000 µm)	1/2		
A3 (500 µm)	3/8		
A4 (500µm)	1/4		
A5 (500 µm)	1/2		
B1 (500 µm)	1/4		
B2 (500 µm)	1/2		
B4 (500 µm)	1/2		
B5		1/4	
C1		1/8	1/4
C2			1/4
C3		1/8	1/4
C4		1/8	
C5 (500 µm)	1/2		
C5 (1000 et 2000 µm)		1/4	
D1		1/4	1/4
D2		1/8	
D3		1/8	
D4		1/8	
D5		1/8	
N1		1/4	1/4
N2		1/4	1/4
N3		1/8	
N4 (500 µm)	1/4		
N4 (1000 et 2000 µm)		1/4	
N5		1/8	
Z1 (500 µm)	1/4		
Z3 (500 µm)	1/2		
Z3 (1000 et 2000 µm)			1/4
Z4		1/4	

Annexe 2. Notes taxinomiques pour l'analyse des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

TAXON	Note
FORAMINIFERA	
PLATYHELMINTHES	
Turbellaria	
Polycladida	Pas de clé adéquate pour les distinguer
NEMERTEA	Pas de clé adéquate pour les distinguer
MOLLUSCA	
Bivalvia	
Bivalvia (sans valve)	Spécimens abîmés
Arcticidae	
Arctica / Mercenaria	Spécimens trop petits pour distinguer les deux genres
GASTROPODA	
Gastropode (sans coquille)	Spécimens abîmés
Capulidae	
Capulus ungaricus ?	Identification faite selon Abbott (1974) mais espèce non répertoriée dans Brunel et al (1998)
ANNELIDA	
Polychaeta	
Lumbrineridae	
Scoletoma sp	Spécimens abîmés; manque les soies antérieures
Orbiniidae	
Leitoscoloplos sp.	Spécimens abîmés
Phyllodocidae	
Phyllodoce c.f. mucosa	Prostomium non apparent et pigmentation pas évidente
Spionidae	
Polydora sp	Spécimen abîmé
Terebellidae	
Polycirrus c.f eximius	Le nombre de sétigères (14-16) correspond à cette espèce, cependant les uncini ne sont pas apparents au 7e sétigère
Archiannellides	
Polygordiidae	
Polygordius sp	Brunel et al (1998) ne va pas plus loin qu'au genre. Nous ne connaissons pas les espèces du golfe.
CRUSTACEA	
Tanaidacea	
Akanthophoreus c.f. gracilis	Specimen abîmé. Manque une patte caractéristique
ECHINODERMATA	
Holothuroidea	
Sp. A	Ressemble à *Havelockia scabra* selon Pawson (1977) mais n'est pas dans Brunel et al (1998)
PISCES	
Ammodytidae	
Ammodytes dubius	Le nombre de rayon à la nageoire dorsale est plus grand que 60

Annexe 3. Collection de référence des organismes benthiques récoltés au dépôt D, Îles-de-la-Madeleine, en novembre 1997 et octobre 2001

TAXON	1997 Numéro de fiole	Nombre	2001 Numéro de fiole	Nombre
CHAETOGNATHA				
Sagitta sp	1	1		
PLATYHELMINTHES				
Turbellaria				
Polycladida	2	perdu	2C	1
NEMERTEA			2A	2
NEMATODA			2B	1
MOLLUSCA				
Bivalvia				
Arcticidae				
Arctica islandica	3	3	3A	1
Arctica / Mercenaria			3B	6
Cardiidae				
Clinocardium ciliatum			9C	1
Mactridae				
Spisula soldissima	8	3		
Mytilidae				
Mytilus edulis	5	2	9A	1
Nuculanidae				
Nucula delphinodonta	6	3		
Pandoridae				
Pandora gouldiana	7	1		
Solenidae				
Ensis directus	4	2		
Tellinidae				
Tellina agilis	9	10		
Veneridae				
Mercenaria mercenaria			9B	1
GASTROPODA				
Capulidae				
Capulus ungaricus ?			12C	1
Limacinidae				
Limacina retroversa	12	1		
Nassariidae				
Nassarius trivittatus	11	2		
Naticidae				
Euspira heros	10			
Pyramidellidae		2		
Turbonilla interrupta			12A	2
Retusidae				
Retusa obtusa			12B	1
ANNELIDA				
Polychaeta				
Ampharetidae				
Ampharete finmarchica	13	1		
Capitellidae	16	1		
Capitella capitata			16A	2

TAXON	1997 Numéro de fiole	Nombre	2001 Numéro de fiole	Nombre
Cirratulidae				
Tharyx acutus	30	1		
Dorvilleidae				
Parougia caeca			30A	1
Flabelligeridae				
Pherusa affinis			30B	1
Glyceridae				
Glycera dibranchiata	15	2		
Lumbrineridae				
Scoletoma fragilis			17A	1
Scoletoma tetraura	17	1		
Maldanidae				
Clymelella torquata	25	1		
Nephtyidae				
Nephtys bucera	18,19 et 20	3		
Orbiniidae				
Leitoscoloplos acutus	27	1		
Leitoscoloplos fragilis			27A	3
Paraonidae				
Aricidea (Acesta) caltherinae	14	1		
Aricidea (Allia) suecica			14A	1
Paraonis fulgens	21	1		
Pectinariidae				
Pectinaria granulata			21A	1
Pectinaria hyperborea			21B	1
Pholoidae				
Pholoë tecta			21C	1
Pholoë minuta/longa			21D	1
Phyllodocidae				
Eteone flava			24A	1
Phyllodoce mucosa	24	1		
Sigalionidae				
Sthenelais limicola	29	2		
Spionidae				
Polydora sp			26A	1
Scolelepis (Scolelepis) squamata	26	1		
Spiophanes bombyx	28	1		
Spio setosa			28A	1
Syllidae				
Exogone hebes			28B	2
Terebellidae				
Polycirrus c.f eximius			28C	1
Polygordiidae				
Polygordius sp			28D	20
CRUSTACEA				
Amphipoda				
Gammaridea				
Ampeliscidae				
Ampelisca vadorum			39A	1
Aoridae				

TAXON	1997 Numéro de fiole	Nombre	2001 Numéro de fiole	Nombre
Unciola irrorata	39	1		
Isaeidae				
Photis tenuicornis	35	4		
Lysianassidae				
Hippomedon serratus	32	1		
Orchomenella pinguis	34	1		
Psammonyx nobilis	37	1		
Oedicerotidae				
Monoculodes edwarsi	33	1		
Phoxocephalidae				
Phoxocephalus holbolli	36	1		
Podoceridae				
Dyopedos cf monacanthus	31	1		
Hyperiidea				
Hyperiidae				
Themisto abyssorum	38	1		
Cladocera				
Podon intermedius	40	1		
Copepoda				
Calanoida				
Calanoidae				
Calanus finmarchicus-glacialis	41	4		
Centropagidae				
Centropages hamatus	42	3		
Temora longicornis	44	1		
Tortanidae				
Tortanus discaudatus	45	2		
Harpacticoida				
Parathalestris croni	43	1		
Cumacea				
Lampropidae				
Lampros quadriplicata	47	1		
Diastylidae				
Diastylis polita	46	3		
Oxyurostilis smithi	48	1		
Pseudocumatidae				
Pseudoleptocuma minor	49	2		
Decapoda				
Caridea				
Cancridae				
Cancer irroratus	50	1		
Crangonidae				
Crangon septemspinosa	51	1		
Paguridae				
Pagurus acadianus	52	1		
Isopoda				
Anthuridae				
Cyathura carinata ?	55	2		
Cirolanidae				
Cirolana polita	54	2		
Idoteidae				

TAXON	1997 Numéro de fiole	Nombre	2001 Numéro de fiole	Nombre
Chiridotea tuftsi	53	3		
Edotia triloba	56	9		
Mysidacea				
Mysidae				
Neomysis americana	57	1		
Ostracoda				
Paradoxostomatidae				
Acetabulastoma arcticum	58	1		
Tanaidacea				
Akanthophoreus gracilis	59	8		
ECHINODERMATA				
Asteriidae				
Asterias-Leptasterias sp	60	1		
Echinoidea				
Echinarachnidae				
Echinarachnius parma	61	1		
Strongylocentrotidae				
Strongylocentrotus droebachiensis			61A	2
Holothuroidea				
Sp. A			61B	1
Ophiuroidea				
Ophiurae				
Amphiuridea				
Ophiopholis aculeata			61C	1
HEMICHORDATA				
Enteropneusta			59A	1
PISCES				
Ammodytidae				
Ammodytes dubius	62	1		

Annexe 4. Résultats du contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

# Échantillon	Nombre total dans tri initial*	Nombre total dans tri de validation*	Pourcentage d'erreur
D3	2631	161	5,77
N5	2431	79	3,15
B5	814	29	3

* comprend les morceaux

Annexe 5. Résultats de l'analyse de variabilité sur la méthode de fractionnement des organismes benthiques récoltés à différentes stations du dépôt D à l'automne 2001

Échantillon	Nombre d'organismes			Nombre moyen d'organismes	Écart-type	Coefficient de variation* (%)
	Fraction 1 1/32	Fraction 2 1/32	Fraction 3 1/32			
A3	37	41	45	41,00	4,00	9,76

* coefficient de variation = écart-type divisé par la moyenne et multiplié par 100

Annexe C Résultats physicochimiques de la campagne de 2001 au dépôt D

Tableau C-1 Résultats physicochimiques de la campagne de 2001 au dépôt D

		DONNÉES DE TERRAIN					GRANULOMÉTRIE							
Zone	Station-Prélèvement	Date	Heure	Latitude réelle	Longitude réelle	Profondeur † (m)	Graviers >2mm %	Sables 2 à 1 mm %	Sables 1 à 0.5 mm %	Sables .5 à .25 mm %	Sables .25 à .125 mm %	Sables .125 à .063 mm %	Limon (hyd.) .063 à .004 mm %	Argile (hyd.) <0.004 mm %
Organisation en charge †		PIM	PIM	PIM	PIM	PIM	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote
monticule A (1982)	A1-A	16-oct	10:40	47° 30,928	61° 36,287	11,2	4,5	3,5	5,8	30,2	44	12	nd	nd
monticule A (1982)	A1-B	16-oct	11:30	47° 30,930	61° 36,275	11,0								
monticule A (1982)	A1-C	16-oct	11:45	47° 30,936	61° 36,284	-								
monticule A (1982)	A2-A	16-oct	13:08	47° 30,931	61° 36,198	10,2	1	5	13	51	27,8	2,2	nd	nd
monticule A (1982)	A2-B	16-oct	13:22	47° 30,937	61° 36,197	10,1								
monticule A (1982)	A2-C	16-oct	13:40	47° 30,932	61° 36,195	9,7								
monticule A (1982)	A3 *	21-oct	07:45	47° 30,897	61° 35,978	10,3								
monticule A (1982)	A3-A	21-oct	17:55	47° 30,980	61° 36,134	10,1	0,5	1	2	32,5	53	11	nd	nd
monticule A (1982)	A3-B	21-oct	18:10	47° 30,990	61° 36,135	10,2								
monticule A (1982)	A3-C	21-oct	18:20	47° 30,989	61° 36,133	10,1								
monticule A (1982)	A4-A *	21-oct	09:40	47° 30,993	61° 36,253	10,4	0,1	1,4	4	32,5	50	12	nd	nd
monticule A (1982)	A4-B	21-oct	09:50	47° 30,990	61° 36,251	10,4								
monticule A (1982)	A4-C	21-oct	10:00	47° 30,989	61° 36,253	10,4								
monticule A (1982)	A5-A *	21-oct	09:05	47° 30,980	61° 35,718	10,0	0,5	0,5	2	34	53	10	nd	nd
monticule A (1982)	A5-B	21-oct	09:10	47° 30,979	61° 35,720	10,0								
monticule A (1982)	A5-C	21-oct	09:20	47° 30,980	61° 35,718	10,0								
Moyenne						**10,3**	**1,3**	**2,3**	**5,4**	**36,0**	**45,8**	**9,4**		
Écart type						**0,4**	**1,8**	**1,9**	**4,6**	**8,5**	**10,6**	**4,1**		
monticule B (1992)	B1-A	16-oct	14:04	47° 31,051	61° 36,153	9,7	0	1	2	34	54	9	nd	nd
monticule B (1992)	B1-B	16-oct	14:11	47° 31,050	61° 36,157	9,8								
monticule B (1992)	B1-C	16-oct	14:28	47° 31,046	61° 36,159	9,9								
monticule B (1992)	B2-A	16-oct	14:45	47° 31,048	61° 36,104	9,2	0	1	3	36	52	8	nd	nd
monticule B (1992)	B2-B	16-oct	15:00	47° 31,046	61° 36,105	9,3								
monticule B (1992)	B2-C	16-oct	15:05	47° 31,048	61° 36,106	9,4								
monticule B (1992)	B3-A	19-oct	17:45	47° 31,012	61° 35,995	-	0	1	2	45	49	3	nd	nd
monticule B (1992)	B3-B	21-oct	10:10	47° 31,012	61° 35,994	10,3								
monticule B (1992)	B3-C	21-oct	10:20	47° 31,011	61° 35,994	10,3								
monticule B (1992)	B4-A	21-oct	10:30	47° 31,088	61° 36,106	9,9	0,5	1	2	38,5	51	7	nd	nd
monticule B (1992)	B4-B	21-oct	10:40	47° 31,088	61° 36,104	9,9								

		DONNÉES DE TERRAIN					GRANULOMÉTRIE							
Zone	Station-Prélèvement	Date	Heure	Latitude réelle	Longitude réelle	Profondeur † (m)	Graviers >2mm	Sables 2 à 1 mm	Sables 1 à 0.5 mm	Sables .5 à .25 mm	Sables .25 à .125 mm	Sables .125 à .063 mm	Limon (hyd.) .063 à .004 mm	Argile (hyd.) <0.004 mm
							%	%	%	%	%	%	%	%
Organisation en charge †		PIM	PIM	PIM	PIM	PIM	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote
monticule B (1992)	B4-C	21-oct	10:45	47° 31,088	61° 36,105	9,9								
monticule B (1992)	B5-A	21-oct	11:05	47° 31,012	61° 36,050	10,0	0	1	1,5	37,5	53	7	nd	nd
monticule B (1992)	B5-B	21-oct	11:15	47° 31,011	61° 36,050	10,0								
monticule B (1992)	B5-C	21-oct	11:20	47° 31,011	61° 36,050	10,0								
Moyenne						**9,8**	**0,1**	**1,0**	**2,1**	**38,2**	**51,8**	**6,8**		
Écart type						**0,3**	**0,2**	**0,0**	**0,5**	**4,2**	**1,9**	**2,3**		
monticule C (1997)	C1-A	16-oct	15:14	47° 31,168	61° 36,004	10,4	0,5	1	3	35,5	51	9	nd	nd
monticule C (1997)	C1-B	16-oct	15:22	47° 31,168	61° 36,003	10,6								
monticule C (1997)	C1-C	16-oct	15:30	47° 31,168	61° 36,002	10,5								
monticule C (1997)	C2-A	16-oct	15:45	47° 31,162	61° 35,954	10,2	0,5	1	3,5	41	49	5	nd	nd
monticule C (1997)	C2-B	16-oct	16:00	47° 31,169	61° 35,953	10,1								
monticule C (1997)	C2-C	16-oct	16:20	47° 31,168	61° 35,954	10,3								
monticule C (1997)	C3-A	19-oct	17:20	47° 31,152	61° 35,980	10,6	0	0,5	1,5	32	54	12	nd	nd
monticule C (1997)	C3-B	21-oct	11:30	47° 31,152	61° 35,979	11,0								
monticule C (1997)	C3-C	21-oct	11:40	47° 31,154	61° 35,979	11,1								
monticule C (1997)	C4-A	21-oct	11:45	47° 31,201	61° 35,979	11,1	1	0,5	2,5	36	51	7	nd	nd
monticule C (1997)	C4-B	21-oct	11:55	47° 31,202	61° 35,980	11,3								
monticule C (1997)	C4-C	21-oct	12:05	47° 31,201	61° 35,978	11,1								
monticule C (1997)	C4-duplicata						0,5	0,5	2	37	52	8	nd	nd
monticule C (1997)	C5-A	21-oct	13:00	47° 31,152	61° 35,931	11,4	0	1	2,5	32,5	52	12	nd	nd
monticule C (1997)	C5-B	21-oct	13:05	47° 31,152	61° 35,929	11,3								
monticule C (1997)	C5-C	21-oct	13:10	47° 31,150	61° 35,930	11,4								
Moyenne						**10,8**	**0,4**	**0,8**	**2,5**	**36,0**	**51,5**	**8,8**		
Écart type						**0,5**	**0,4**	**0,3**	**0,7**	**3,4**	**1,6**	**2,8**		
zone N [2]	N1-A	19-oct	11:05	47° 31,492	61° 35,939	12,6	0	0,5	2	22,5	51	17	4,77	2,23
zone N [2]	N1-B	19-oct	11:30	47° 31,492	61° 35,939	12,6								
zone N [2]	N1-C	19-oct	11:45	47° 31,493	61° 35,941	12,5								
zone N [2]	N2-A	19-oct	11:55	47° 31,426	61° 35,842	12,8	0,5	0,5	1	22	54	22	nd	nd
zone N [2]	N2-B	19-oct	12:05	47° 31,427	61° 35,844	12,7								
zone N [2]	N2-C	19-oct	12:30	47° 31,426	61° 35,843	12,8								
zone N [2]	N3-A	21-oct	13:20	47° 31,362	61° 35,556	13,1	0	1	1,5	27,5	50	14,5	3,6	1,9

		DONNÉES DE TERRAIN					GRANULOMÉTRIE							
Zone	Station-Prélèvement	Date	Heure	Latitude réelle	Longitude réelle	Profondeur † (m)	Graviers >2mm %	Sables 2 à 1 mm %	Sables 1 à 0.5 mm %	Sables .5 à .25 mm %	Sables .25 à .125 mm %	Sables .125 à .063 mm %	Limon (hyd.) .063 à .004 mm %	Argile (hyd.) <0.004 mm %
Organisation en charge †		PIM	PIM	PIM	PIM	PIM	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote	Bodycote
zone N [2]	N3-B	21-oct	13:25	47° 31,360	61° 35,557	13,2								
zone N [2]	N3-C	21-oct	13:35	47° 31,360	61° 35,556	13,1								
zone N [2]	N3-duplicata						0	1	1,5	26,5	51	15	3,2	1,8
zone N [2]	N4-A	21-oct	13:45	47° 31,297	61° 36,035	12,6	0	1	3	41	50	5	nd	nd
zone N [2]	N4-B	21-oct	13:50	47° 31,298	61° 36,036	12,7								
zone N [2]	N4-C	21-oct	13:55	47° 31,296	61° 36,036	12,7								
zone N [2]	N5-A	21-oct	14:10	47° 31,296	61° 35,844	13,0	0	1	1,5	30,5	51	16	nd	nd
zone N [2]	N5-B	21-oct	14:15	47° 31,295	61° 35,845	13,0								
zone N [2]	N5-C	21-oct	14:25	47° 31,296	61° 35,844	13,0								
Moyenne						**12,8**	**0,1**	**0,8**	**1,8**	**28,3**	**51,2**	**14,9**	**3,9**	**2,0**
Écart type						**0,2**	**0,2**	**0,3**	**0,7**	**7,0**	**1,5**	**5,6**	**0,8**	**0,2**
référence D	D1-A	19-oct	15:50	47° 31,409	61° 35,066	12,5	0	0,5	1	24,5	52	15,3	4,5	2,2
référence D	D1-B	19-oct	16:05	47° 31,410	61° 35,063	12,5								
référence D	D1-C	19-oct	16:15	47° 31,411	61° 35,063	12,5								
référence D	D2-A	19-oct	16:30	47° 31,320	61° 35,151	12,6	0,2	0,8	1,5	28,5	52	17	nd	nd
référence D	D2-B	19-oct	16:40	47° 31,318	61° 35,149	12,7								
référence D	D2-C	19-oct	16:45	47° 31,322	61° 35,153	12,8								
référence D	D2-duplicata						0,5	0,5	1,5	26,5	53	18	nd	nd
référence D	D3-A	21-oct	14:45	47° 31,321	61° 35,065	13,3	0,5	1	2	28,5	51	17	nd	nd
référence D	D3-B	21-oct	14:55	47° 31,320	61° 35,065	13,3								
référence D	D3-C	21-oct	15:10	47° 31,319	61° 35,064	13,3								
référence D	D4-A	21-oct	15:30	47° 31,291	61° 35,106	13,4	0	0,5	1,5	26	52	20	nd	nd
référence D	D4-B	21-oct	15:35	47° 31,290	61° 35,107	13,3								
référence D	D4-C	21-oct	15:40	47° 31,292	61° 35,107	13,3								
référence D	D5-A	21-oct	15:45	47° 31,422	61° 34,998	12,9	0,5	0,5	0,8	22,2	52	18	3,96	2,04
référence D	D5-B	21-oct	15:55	47° 31,423	61° 34,998	12,9								
référence D	D5-C	21-oct	16:10	47° 31,423	61° 34,999	13,0								
Moyenne						**13,0**	**0,3**	**0,6**	**1,4**	**26,0**	**52,0**	**17,6**	**4,2**	**2,1**
Écart type						**0,3**	**0,2**	**0,2**	**0,4**	**2,4**	**0,6**	**1,6**	**0,4**	**0,1**
référence Z [3]	Z1-A *	21-oct	16:30	47° 31,861	61° 36,209	10,0	0,5	0,5	2	26	50	21	nd	nd
référence Z [3]	Z1-B	21-oct	16:40	47° 31,863	61° 36,210	10,0								

		DONNÉES DE TERRAIN					GRANULOMÉTRIE							
Zone	Station-Prélèvement	Date	Heure	Latitude réelle	Longitude réelle	Profondeur † (m)	Graviers >2mm %	Sables 2 à 1 mm %	Sables 1 à 0.5 mm %	Sables .5 à .25 mm %	Sables .25 à .125 mm %	Sables .125 à .063 mm %	Limon (hyd.) .063 à .004 mm %	Argile (hyd.) <0.004 mm %
Organisation en charge †		**PIM**	**PIM**	**PIM**	**PIM**	**PIM**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**	**Bodycote**
référence Z [3]	Z1-C	21-oct	16:45	47° 31,861	61° 36,209	10,0								
référence Z [3]	Z2													
référence Z [3]	Z3-A	19-oct	14:10	47° 31,877	61° 36,222	9,9	0	0,5	1	22,5	54	22	nd	nd
référence Z [3]	Z3-B	19-oct	14:20	47° 31,877	61° 36,220	10,0								
référence Z [3]	Z3-C	19-oct	14:30	47° 31,876	61° 36,219	10,0								
référence Z [3]	Z4-A	19-oct	14:40	47° 31,877	61° 36,186	10,0	0	0,5	1,5	21	55	22	nd	nd
référence Z [3]	Z4-B	19-oct	14:50	47° 31,878	61° 36,185	9,9								
référence Z [3]	Z4-C	19-oct	15:00	47° 31,877	61° 36,185	9,9								
référence Z [3]	Z5													
Moyenne						**10,0**	**0,2**	**0,5**	**1,5**	**23,2**	**53,0**	**21,7**		
Écart type						**0,05**	**0,29**	**0**	**0,5**	**2,57**	**2,65**	**0,58**		

† PIM = Programme Immersion en mer, Direction Protection de l'environnement, Environnement Canada, région du Québec, Montréal, QC.
Bodycote = Bodycote Essais de matériaux Canada inc., Sainte-Foy, QC.

Tableau C-1 (suite) Résultats physicochimiques de la campagne de 2001 au dépôt D

Zone	Station-Prélèvement	PARAMÈTRES DE SUPPORT Moyenne Azote amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Écart-type Az. amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Moyenne Sulfures sédiment (ug S/g)	Écart-type Sulfures sédiment (ug S/g)	Moyenne Potentiel Redox sédiment (mV)	Écart-type Potentiel Redox sédiment (mV)	Carbone Organique Total (%)
Organisation en charge *		Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Bodycote
monticule A (1982)	A1-A	2,3	0,05	6,5	0,84	88	0,0	<1%
monticule A (1982)	A1-B							
monticule A (1982)	A1-C							
monticule A (1982)	A2-A	0,4	0,01	0,5	0,16	269	0,0	<1%
monticule A (1982)	A2-B							
monticule A (1982)	A2-C							
monticule A (1982)	A3 *							
monticule A (1982)	A3-A	2,0	0,09	1,8	0,13	242	0,0	<1%
monticule A (1982)	A3-B							
monticule A (1982)	A3-C							
monticule A (1982)	A4-A *	0,7	0,03	0,4	0,03	260	0,0	<1%
monticule A (1982)	A4-B							
monticule A (1982)	A4-C							
monticule A (1982)	A5-A *	1,2	0,04	0,7	0,13	164	0,0	<1%
monticule A (1982)	A5-B							
monticule A (1982)	A5-C							
Moyenne		**1,3**		**2,9**		**264,6**		
Écart type		**0,8**		**2,6**		**77,2**		
monticule B (1992)	B1-A	2,6	0,1	6,9	0,25	120	0,6	<1%
monticule B (1992)	B1-B							
monticule B (1992)	B1-C							
monticule B (1992)	B2-A	2,4	0,23	4,3	0,8	198	0,0	<1%
monticule B (1992)	B2-B							
monticule B (1992)	B2-C							
monticule B (1992)	B3-A	0,8	0,04	0,5	0,14	261	0,0	<1%
monticule B (1992)	B3-B							

Zone	Station-Prélèvement	PARAMÈTRES DE SUPPORT						
		Moyenne Azote amm. sédiment	Écart-type Az. amm. sédiment	Moyenne Sulfures sédiment	Écart-type Sulfures sédiment	Moyenne Potentiel Redox sédiment	Écart-type Potentiel Redox sédiment	Carbone Organique Total
		(ug NH3-N/g)	(ug NH3-N/g)	(ug S/g)	(ug S/g)	(mV)	(mV)	(%)
Organisation en charge *		Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Bodycote
monticule B (1992)	B3-C							
monticule B (1992)	B4-A	1,4	0,03	2,2	0,31	227	0,0	<1%
monticule B (1992)	B4-B							
monticule B (1992)	B4-C							
monticule B (1992)	B5-A	0,8	0,03	1,1	0,24	208	0,2	<1%
monticule B (1992)	B5-B							
monticule B (1992)	B5-C							
Moyenne		**1,6**		**3,0**		**202,8**		
Écart type		**0,9**		**2,6**		**52,2**		
monticule C (1997)	C1-A	2,5	0,08	5,3	0,54	159	0,0	<1%
monticule C (1997)	C1-B							
monticule C (1997)	C1-C							
monticule C (1997)	C2-A	1,5	0,01	2,3	0,39	253	0,6	<1%
monticule C (1997)	C2-B							
monticule C (1997)	C2-C							
monticule C (1997)	C3-A	2,0	0,02	3,7	0,35	171	0,0	<1%
monticule C (1997)	C3-B							
monticule C (1997)	C3-C							
monticule C (1997)	C4-A	1,1	0,02	2,5	0,54	268	0,0	<1%
monticule C (1997)	C4-B							
monticule C (1997)	C4-C							
monticule C (1997)	C4-duplicata	1,6	0,07	1,1	0,28	339	0,0	<1%
monticule C (1997)	C5-A	1,7	0,04	1,2	0,03	245	0,0	<1%
monticule C (1997)	C5-B							
monticule C (1997)	C5-C							
Moyenne		**1,7**		**2,7**		**238,8**		
Écart type		**0,5**		**1,6**		**66,3**		
zone N [2]	N1-A	7,3	0,09	6,2	0,46	238	0,0	<1%
zone N [2]	N1-B							

Zone	Station-Prélèvement	PARAMÈTRES DE SUPPORT						
		Moyenne Azote amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Écart-type Az. amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Moyenne Sulfures sédiment (ug S/g)	Écart-type Sulfures sédiment (ug S/g)	Moyenne Potentiel Redox sédiment (mV)	Écart-type Potentiel Redox sédiment (mV)	Carbone Organique Total (%)
Organisation en charge *		Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Bodycote
zone N ²	N1-C							
zone N ²	N2-A	4,9	0,17	9,6	0,26	41	0,0	<1%
zone N ²	N2-B							
zone N ²	N2-C							
zone N ²	N3-A	2,0	0,05	8,5	0,49	453	0,0	<1%
zone N ²	N3-B							
zone N ²	N3-C							
zone N ²	N3-duplicata	1,9	0,12	10,1	0,3	170	0,0	<1%
zone N ²	N4-A	2,1	0,11	1,6	0,45	192	0,0	<1%
zone N ²	N4-B							
zone N ²	N4-C							
zone N ²	N5-A	2,6	0,09	9,5	1,22	147	0,0	<1%
zone N ²	N5-B							
zone N ²	N5-C							
Moyenne		**3,5**		**7,6**		**206,8**		
Écart type		**2,2**		**3,2**		**137,3**		
référence D	D1-A	3,8	0,29	5,9	0,45	143	0,0	<1%
référence D	D1-B							
référence D	D1-C							
référence D	D2-A	8,5	0,09	10,5	0,37	385	0,0	<1%
référence D	D2-B							
référence D	D2-C							
référence D	D2-duplicata	6,2	0,12	10,3	0,55	78	0,0	<1%
référence D	D3-A	3,4	0,15	12,6	1,38	106	0,0	<1%
référence D	D3-B							
référence D	D3-C							
référence D	D4-A	4,7	0,22	4,4	0,25	202	0,0	<1%
référence D	D4-B							
référence D	D4-C							

		PARAMÈTRES DE SUPPORT						
Zone	Station-Prélèvement	Moyenne Azote amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Écart-type Az. amm. sédiment (ug NH3-N/g)	Moyenne Sulfures sédiment (ug S/g)	Écart-type Sulfures sédiment (ug S/g)	Moyenne Potentiel Redox sédiment (mV)	Écart-type Potentiel Redox sédiment (mV)	Carbone Organique Total (%)
Organisation en charge *		Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Atlantique	Bodycote
référence D	D5-A	4,2	0,07	10,9	0,86	203	0,0	<1%
référence D	D5-B							
référence D	D5-C							
Moyenne		**5,1**		**9,1**		**186,2**		
Écart type		**1,9**		**3,2**		**109,6**		
référence Z [3]	Z1-A *	2,6	0,03	4	0,42	223	0,0	<1%
référence Z [3]	Z1-B							
référence Z [3]	Z1-C							
référence Z [3]	Z2							
référence Z [3]	Z3-A	3,0	0,08	4,7	0,59	72	0,0	<1%
référence Z [3]	Z3-B							
référence Z [3]	Z3-C							
référence Z [3]	Z4-A	4,5	0,05	1,1	0,14	189	0,0	<1%
référence Z [3]	Z4-B							
référence Z [3]	Z4-C							
référence Z [3]	Z5							
Moyenne		**3,4**		**3,3**		**161,3**		
Écart type		**1,00**		**1,91**		**79,21**		

* Atlantique = Laboratoire de toxicologie, Centre des sciences environnementales, Direction de la conservation de l'environnement, région de l'Atlantique Environnement Canada, Moncton, NB.
Bodycote = Bodycote Essais de matériaux Canada inc., Sainte-Foy, QC.

Annexe D Changements taxinomiques survenus entre 1997 et 2001

Tableau D-1 Changements taxinomiques survenus entre 1997 et 2001

1997	2001	Raisons*
Modiolus modiolus	*Mytilus edulis*	*CR*
Nucula tenuis	*Nucula delphinodonta*	*CR*
Ilyanassa trivittata	*Nassarius trivittatus*	*N*
Ampharete arctica	*Ampharete finmarchica*	*N*
Heteromastus sp	*Capitellidae*	*CR*
Lumbrineris fragilis	*Scoletoma tetraura*	*CR*
Praxillella gracilis	*Clymelella torquata*	*CR*
Nephtys caeca	*Nephtys bucera*	*CR*
Nephtys incisa	*Nephtys bucera*	*CR*
Scoloplos acutus	*Leitoscoloplos acutus*	*N*
Aricidea jeffreysii	*Aricidea (Acesta) caltherinae*	*N*
Pholoë minuta	*Pholoë minuta/longa*	*CR*
Phyllodoce arenae	*Phyllodoce c.f. mucosa*	*CR*
Scolelepis squamata	*Scolelepis (Scolelepis) squamata*	*N*
Photis reinhardi ?	*Photis tenuicornis*	*CR*
Orchomenella minuta	*Orchomenella pinguis*	*CR*
Psammonyx (Tmetonyx) nobilis	*Psammonyx nobilis*	*N*
Monoculodes norvegicus	*Monoculodes edwarsi*	*CR*
Dulichia monacantha	*Dyopedos cf monacanthus*	*N*
Edotea montosa	*Edotia triloba*	*N*
Leptognathia gracilis	*Akanthophoreus gracilis*	*N*

* CR : vérification de la collection de référence
N : mise à jour du nom

Annexe E Rapport d'analyse statistique des données

Programme d'immersion en mer
Suivi environnemental des lieux d'immersion en milieu marin: rapport d'analyse statistique des données récoltées en 1997 et 2001

Dr. Daniel Borcard

Analyses multivariables: elles ont été faites par des ACP (analyses en composantes principales)* [1] et analyses de redondances [RDA , voir p. ex. Legendre & Legendre, 1998], avec transformation préalable des abondances d'espèces * selon la méthode proposée par Legendre & Gallagher (2001). Les tests statistiques liés aux RDA sont des tests par permutation*. Les transformations de données, ACP et tests de normalité, ainsi que les diagrammes d'analyses multivariables, ont été réalisés à l'aide du progiciel R d'analyse de données, version 4 de Casgrain, Legendre et Vaudor (2002). Les tests d'homogénéité des variances ont été réalisés à l'aide du programme Test_HOV de Pierre Legendre (1999). Les analyses canoniques ont été faites avec Canoco 3.12 (ter Braak, 1988). Enfin, les Anovas ont été faites sur SuperAnova version 1.11 d'Abacus Concepts (1991).

Le document ci-dessous contient le rapport écrit d'analyse, des tableaux synthétiques de quelques moyennes de descripteurs importants, et des diagrammes d'analyse multivariables. Les fichiers de sortie des analyses statistiques proprement dites sont réunis dans un document d'annexes séparé.

1. Question temporelle: les communautés ont-elle changé entre 1997 et 2001?

Cette question a été abordée (et l'effet temporel testé statistiquement) à l'aide d'une analyse de redondance. La variable explicative est le temps (binaire, 2 états: 1997 - 2001).

Les données se composent de 41 sites (zones A, B, C et D des deux années et zones N et Z de 2001), et de 85 taxons. On a regroupé trois paires de taxons dont de rares exemplaires étaient incertains (*Acanthophoreus gracilis* et *A. cf. gracili; Pandora gouldiana* et *P. gouldiana?*; *Phyllodoce mucosa* et *P. cf. mucosa*). De plus, on a complètement retiré l'oursin *Echinarachnius parma*, dont d'énormes quantités de petits exemplaires ont été récoltés en 2001 seulement.

1.1. Test statistique

Le test montre que les prélèvements de 1997 diffèrent de manière hautement significative de ceux de 2001 ($p = 0.001$, 999 permutations).

L'axe canonique* d'ordination (axe 1) explique à lui seul 58.8% de la variance des données. On voit sur un diagramme d'ordination montrant les sites (Figure 1) que toutes les zones diffèrent entre 1997 et 2001. De plus, l'amplitude de la différence est plus ou moins la même pour la zone de référence D que pour les monticules A, B et C. En effet, en projection sur l'axe 1, on constate que l'écart entre les groupes A(1997) et A(2001), B(1997) et B(2001), C(1997) et C(2001), D(1997) et D(2001) est à peu près le même.

L'axe 2 n'est pas canonique (il n'y a qu'une variable explicative dans l'analyse; le 2e axe représente donc la plus forte variation de ce qui n'est *pas* expliqué par la variable temporelle). Il représente 9.5% de la variation totale des données. Cela montre donc que les différences entre zones (au sein

[1] Les termes accompagnés d'un astérisque renvoient à une brève explication technique en fin de document.

d'une même série de prélèvements, 1997 ou 2001) sont bien plus faibles que les différences entre deux séries de prélèvements (1997 et 2001) dans une même zone. Les caractéristiques communes de 1997 et 2001 sont:

- une légère différence entre la zone D et les zones A, B et C;
- peu de différence entre les zones A, B et C (en particulier en 2001);
- une faible tendance de la zone C à être plus proche de D que de A et B (même en 1997).

En outre, on voit que les nouvelles zones de référence de 2001 (N, pas encore affecté par une immersion, et Z) sont assez semblables dans leur communauté benthique à la zone D.

Dans cette analyse, deux prélèvements se comportent d'une manière légèrement aberrante:

- A2 (2001) se distingue des autres prélèvements de la zone A (2001) par une très forte abondance de *Polygordius sp.* Et de Nemerta, et par des effectifs faibles de *Spiophanes bombyx* et de *Nassarius trivittatus*; A2 est si clairement différent des autres prélèvements que nous l'avons complètement éliminé des analyses suivantes ;

- N4 (2001) se distingue en particulier par des effectifs de *Spiophanes bombyx* nettement plus faibles que dans les autres sites des zones de référence.

Les vecteurs-taxons sur le plan 1x2 sont montrés à la Figure 2. Ceux dont les vecteurs sont longs et pointent dans la même direction que des groupes de sites sont typiques de ces groupes. Les codes des noms de taxons sont donnés au Tableau V.

La forte différence entre les récoltes de 1997 et de 2001 s'explique aisément. En effet, sur les 85 taxons inclus dans l'analyse, 15 ne sont présents qu'en 1997 et 32 ne sont présents qu'en 2001.

Parmi les 5 taxons présents uniquement en 1997 et à plus d'un exemplaire, on peut relever les Ampharetidae-Maldanidae, présents dans les zones A, B et D mais pas en C. Ce groupe aurait donc pu apparaître comme un indicateur potentiel, sensible aux immersions, mais comme il est complètement absent des récoltes de 2001 cela est impossible à vérifier.

Parmi les taxons uniques de 2001, il faut relever *Polygordius sp.* Présent presque partout, mais surtout en densités très fortes en A2, A1 et B1. On notera aussi *Hexogone hebes*, présent en petits nombres dans presque tous les prélèvements des zones D, N et Z, mais complètement absents des monticules A, B et C.

Enfin, à titre de comparaison, nous avons aussi réalisé une analyse sans contrainte (descriptive) des mêmes données. Il s'agit d'une ACP sur données transformées de la même manière que pour la RDA*. Son résultat (Figure 3) est pratiquement le même que celui de la RDA, ce qui montre que la contrainte introduite dans la RDA avait expliqué le facteur dominant de la structuration des communautés.

2. Questions comparatives entre sites, au sein de chaque année

Ces questions ont donné lieu à des analyses séparées pour les données de 1997 et 2001.

2.1. Récoltes de 1997

Analyse 1: RDA sur données transformées. Une variable explicative quantitative: date de la dernière immersion. Pour la zone de référence D, une date arbitraire et éloignée (1900) a été choisie. Cette façon de procéder permet de tester à la fois l'effet de l'immersion et celui de la différence d'âge de la dernière immersion lorsqu'il y en a eu une, tout en évitant le délicat problème technique des valeurs manquantes. Le tableau de données comporte 13 lignes (sites) et 53 taxons.

La variable "date" explique significativement 21.4% de la variance des données (p=0.019, 999 permutations). On voit à la Figure 4 que les sites de la zone D (référence) se démarquent nettement des autres (monticules) sur l'axe 1 de l'ordination, qui est l'axe contraint par la variable "temps". On voit aussi que ce sont les sites de la zone A qui s'en approchent le plus. En revanche, cet axe ne permet pas de distinguer la zone C, très récemment perturbée au moment de l'échantillonnage. La Figure 5 montre les taxons.

Le deuxième axe d'ordination (qui n'est pas contraint) représente 30.1% de la variance, soit plus que l'axe contraint. Il exprime clairement la spécificité de la zone C, récemment perturbée. Deux de ses trois prélèvements se détachent des autres sites et zones. On remarque aussi qu'en projection sur cet axe les zones A, B et D ne sont pas clairement séparés, et que c'est la zone D qui apparaît la plus proche de la zone C.

Analyse 2: L'analyse 1 ci-dessus a fourni un test statistique établissant le caractère significatif de l'influence de l'immersion de sédiments. Cependant, comme la variable utilisée explique une fraction relativement faible de la variance des données (21.4%), nous avons aussi procédé à une analyse sans contrainte des données, à savoir une ACP (toujours sur données transformées). Cette analyse avait pour but de vérifier que l'introduction de la contrainte n'avait pas indûment déformé le résultat. Il s'avère que celui-ci est le même, à ceci près que les deux premiers axes sont intervertis (Figure 6), et représentent respectivement 30.1 et 24.2% de variance.

Ces deux analyses montrent que les traits dominants des récoltes de 1997 sont la différence entre la zone C et les autres, et la différence entre la référence D et les monticules. La zone C, qui venait alors de subir une perturbation par immersion de sédiments, montre une structure de communauté benthique nettement démarquée de toutes les autres zones. On verra plus bas que cette différence s'estompe un peu en 2001, du moins par rapport aux zones A et B.

2.2. Récoltes de 2001

Nous avons procédé à de multiples analyses pour répondre le plus précisément possible aux questions posées.

Analyse 1: RDA sur données transformées, deux variables explicatives quantitatives: date de la dernière immersion et profondeur. Pour la zone de référence D, une date arbitraire (1900) a été sélectionnée. Le tableau de données comporte 28 lignes (sites) et 70 taxons.

Les deux variables explicatives ont une influence significative sur les données, et expliquent ensemble 27.1% de la variance des données. Cependant, le prélèvement A2 se comporte de manière aberrante et déforme toute l'analyse (mêmes raisons que pour l'analyse globale des deux années, mais, le nombre de sites étant inférieur, l'influence relative d'un site extrême est plus forte). Nous avons donc refait une analyse sans ce prélèvement, que nous présentons ci-dessous.

La nouvelle analyse comporte 27 prélèvements et 68 taxons. Les deux variables explicatives ont une influence significative sur les données (test global: p=0.001; tests sur les deux axes canoniques: p=0.001; 999 permutations), et expliquent ensemble 31.6% de la variance des données. La Figure 7 montre les objets et les variables explicatives, et la Figure 8 les taxons.

On voit que les zones A et B apparaissent confondues sur le plan 1x2, et que la zone C s'en démarque légèrement. Les prélèvements de la zone N sont assez hétérogènes: l'un d'entre eux est très proche des communautés de C et les quatre autres sont plutôt similaires à ceux de la référence D. On remarque aussi que la nouvelle référence Z est assez différente des autres zones.

Analyse 2: comme pour 1997 nous avons procédé à une analyse en composantes principales afin de "laisser les données s'exprimer" sans contrainte. Analyse sans le prélèvement A2. Le résultat est assez similaire à celui de la RDA, aux inversions d'axes (arbitraires) près. La Figure 9 montre les

objets. La séparation de la zone Z est un peu moins claire, mais dans l'ensemble les caractéristiques des communautés ressortent: l'axe 1 (28.7% de la variance des données) sépare les zones de référence des monticules. L'axe 2 (19.6%), moins clair, représente en partie le gradient de profondeur. Il faut noter que sans les contraintes imposées dans une RDA, le plan 1x2 de l'ACP représente 48.3% de la variance totale des données, mais que ce plan est en contrepartie plus brouillé, et représente certaines sources de variation difficilement interprétables. Le plan 1x2 de la RDA (Figure 7), en comparaison, a le mérite de faire ressortir la part de variance qui nous intéressait au premier chef.

Analyse 3: Les analyses ci-dessus mettent bien en évidence les effets des immersions de sédiments et ceux de la profondeur. Nous avons aussi voulu savoir si les descripteurs physico-chimiques avaient une influence significative sur les communautés, en plus des deux variables "immersion" et "profondeur". C'est pourquoi nous avons procédé à une autre RDA des données de 2001, avec pour variables explicatives l'année d'immersion, la profondeur, les 6 classes de sable, les 2 classes de limon, l'azote ammoniacal et le soufre (ces deux derniers en ln). De plus, nous avons procédé à une sélection progressive des variables explicatives* de manière à ne retenir que celles qui contribuent significativement à la structuration des communautés.

Résultat: Les variables significatives sont (dans l'ordre décroissant de pouvoir explicatif) l'immersion (19% de variance expliquée), la profondeur (13% d'explication ajoutée), le sable 2-1 mm (6% d'explication ajoutée) et les sulfures des sédiments (5% d'explication ajoutée). L'ensemble explique 42.6% de la variance des données, mais trois axes canoniques seulement, expliquant au total 40.3% de la variance, sont significatifs. La Figure 10 montre le plan 1x2 de l'analyse, qui est pratiquement semblable à celui de la figure 7. Le plan 1x3 (non illustré) n'offre guère d'éclaircissements nouveaux.

Cette analyse supplémentaire montre que les variables physico-chimiques ne contribuent que très peu à l'explication de la structure des communautés benthiques, en comparaison avec les facteurs dominants que sont le fait d'avoir subi une immersion de sédiments, et la profondeur du site.

Analyse 4: Comparaison des zones A-B-C-D, afin de refaire la même analyse qu'en 1997. RDA, variable de contrainte: année d'immersion (D = 1900).

L'effet de cette variable est significatif (p = 0.002, 999 permutations). L'année d'immersion explique 21.5% de la variance des données, ce qui est identique aux 21.4% de 1997. On constate que la disposition relative des **sites** (Figure 10) ressemble à celle de 1997 (Figure 4), avec toutefois des nuances importantes: la zone de référence D se démarque toujours clairement des zones A, B et C, mais ces trois dernières sont moins séparées les unes des autres. Cela est dû en partie à la dispersion assez grande des sites des zones A et B, et aussi au fait que les sites de la zone C sont plus proches de ceux des zones A et B. Du côté des **espèces** (figure 11), on retrouve quelques taxons associés principalement à la zone D en 1997 et 2001: *Ampharete finmarchica*, *Aricidea (Acesta) caltherinae*, *Unciola irrorata*, *Spiophanes bombyx*. Dans les autres zones, par contre, la forte dispersion des données brouille un peu le jeu. L'examen des tableaux de données serait utile sur le plan descriptif.

Analyse 5: comparaison des zones D, N et Z, afin de mesurer la dispersion propre aux trois zones de référence (ou considérées comme telles en 2001), et de tester si cette dispersion est liée à la profondeur. RDA des données des trois zones, avec la profondeur comme contrainte. Résultat: la profondeur explique 28.4% de la variance des données de D, N et Z, et ce de manière significative (p = 0.001, 999 permutations). La Figure 12 montre que la zone Z est nettement différente des zones D et N qui, elles, sont confondues. La Figure 13 montre comment se répartissent les espèces dans ce plan.

Analyse 6: L'analyse qui précède a montré l'influence de la profondeur. L'analyse 6 est une RDA partielle* destinée à tester s'il reste une différence significative entre les trois zones de référence une fois qu'on a ôté l'influence de la profondeur. C'est une RDA des données de D, N et Z, avec variable qualitative à trois classes (les trois zones) comme contrainte, et la profondeur comme covariable. Résultat: lorsqu'on a retiré l'effet de la profondeur, la différence entre les trois zones n'est plus significative ($p = 0.051$ pour l'effet global, et $p = 0.125$ et 0.223 pour chacun des deux axes canoniques; 999 permutations). La différence de profondeur est donc un facteur déterminant pour expliquer la différence de structure des communautés benthiques des trois zones de référence de 2001, car lorsqu'on en retire l'effet on n'observe plus de différence significative.

3. ANOVAS sur les descripteurs synthétiques des communautés: abondance totale, richesse taxonomique, diversité et régularité

Un mot de précaution préliminaire: les données sont taxonomiquement hétérogènes, c'est-à-dire que tous les taxons ne sont pas identifiés au même niveau. Cela veut dire que les notions de richesse spécifique, diversité et régularité sont à considérer avec certaines précautions.

Nous avons recalculé les descripteurs synthétiques (abondance totale, densité par mètre carré, richesse taxonomique, diversité et régularité) en fonction des données que nous avons effectivement utilisées, soit tous les prélèvements sauf A2(2001) après retrait ou fusion des taxons mentionnés au début de ce document. Les valeurs moyennes et les écarts-types de ces nouveaux descripteurs synthétiques sont donnés au tableau I. Le tableau II donne pour 1997 et 2001 les différences entre les monticules et la référence D, exprimées en pourcentage de la valeur moyenne de D.

Nous avons procédé à une Anova à deux critères de classification croisés (zone x année) et à deux Anovas simples, une pour chaque année. Les variables utilisées ont au préalable subi des tests de Kolmogorov-Smirnov-Stephens pour s'assurer de leur normalité. Ces tests ont montré que l'hypothèse de normalité ne pouvait être rejetée pour aucune des variables au seuil 0.05. On s'est aussi asssuré de l'homogénéité des variances par des tests de Bartlett (réalisés par permutations). Les variances des groupes peuvent être considérées comme homogènes. Nous n'avons pas testé la variable "densité", qui n'est qu'un multiple de la variable "abondance totale". Dans les Anovas séparées de 1997 et 2001, nous avons aussi procédé à des tests *a posteriori* lorsque les Anovas étaient significatives. Le test utilisé est celui de Student-Newman-Keuls (SNK), relativement libéral. Ce choix est motivé par le faible nombre de répétitions, qui entraîne une faible puissance des tests. Un test *a posteriori* libéral donne plus de chances de détecter des différences, avec en contrepartie un risque un peu plus fort d'erreur de type I (trouver une différence où il n'y en a pas).

3.1. Anovas globales

Ces analyses, portant sur les deux années ensemble, ont été réalisées sur les données des sites A, B, C et D uniquement, afin de conserver un peu d'équilibre dans le plan malgré les différences d'effectifs des cellules.

Abondance totale: critères "zone" et "année" significatifs ($p = 0.0001$ et 0.0001 respectivement), et présence d'une faible interaction ($p = 0.0459$). Cela signifie que les abondances sont différentes d'une zone à l'autre au sein d'une année, que ces abondances changent d'une année à l'autre, et que le changement d'une année à l'autre n'est pas tout à fait le même suivant la zone (ou encore que les différences entre zones ne sont pas tout à fait les mêmes d'une année à l'autre).

Richesse taxonomique: différences significatives d'un site à l'autre ($p = 0.0012$), mais pas de changement significatif d'une année à l'autre ($p = 0.1260$) et pas d'interaction ($p = 2266$). La

forte variabilité des résultats explique le résultat négatif en ce qui concerne la variation temporelle.

Diversité: différence significative d'une année à l'autre ($p = 0.0018$), mais non d'un site à l'autre ($p = 0.3616$). Interaction non significative ($p = 0.0548$).

Régularité: change significativement d'une année à l'autre ($p = 0.0005$), mais pas d'une zone à l'autre ($p = 0.1530$). Pas d'interaction ($p = 0.0762$).

3.2. Anovas 1997

Le tableau III donne un résumé des résultats. Seule la variable "Abondance totale" diffère significativement d'une zone à l'autre. Les tests *a posteriori* montrent tous les deux que la zone D est significativement différente des zones A, B et C. Son abondance est nettement plus élevée que celle observée sur les monticules. Sa richesse taxonomique l'est aussi, mais pas assez pour que la différence soit significative.

On remarque aussi que l'abondance de la zone C est plus basse que celles des autres zones. Cependant, la différence n'est pas assez importante pour être significative.

Notre observation ici est que le nombre de répétitions (3 ou 4 par zone) est insuffisant pour faire ressortir clairement les différences fines.

3.3. Anovas 2001

Ici nous avons utilisé les données de toutes les zones. Les résultats diffèrent de ceux de 1997. En 2001, les 4 variables montrent des différences globalement significatives entre les zones. Le tableau IV donne un résumé des résultats. On peut aussi se référer au tableau I pour les valeurs moyennes des descripteurs.

Abondance totale: elle est significativement plus élevée en D qu'en B et en A. Elle est aussi plus élevée en D qu'en Z; dans cette dernière les valeurs sont semblables à celles de A et B. On remarque aussi que, contrairement à 1997, l'abondance totale en C est nettement plus élevée qu'en A et B, quoique la différence ne soit juste pas assez grande pour être statistiquement significative.

Richesse spécifique: significativement plus élevée en D qu'en A et B (ces deux ayant la plus basse). Sur le plan descriptif (non significatif), on observe que la richesse de N est proche de celle de D, celle de Z un peu inférieure, et celle de C encore un peu plus faible.

Diversité: différences significatives. Le test *a posteriori* de SNK détecte une différence significative entre la diversité de C et celle de toutes les autres zones, ainsi qu'une diversité plus élevée en Z qu'en A.

Régularité: la régularité de C est plus basse que celles de A, B et Z (mais pas de D et de N).

4. Synthèse

À la lumière des analyses qui précèdent, nous pouvons maintenant revenir sur les hypothèses et questions posées.

4.1. Changements temporels des communautés entre 1997 et 2001

Nos analyses de redondance montrent que **toutes** les zones présentent des changements de structure de communauté entre 1997 et 2001. Cela vaut pour les trois monticules A, B et C aussi bien que pour la référence D (voir en particulier la Figure 1). Les récoltes montrent qu'un nombre important de taxons ne sont présents qu'une des deux années, ce qui explique en partie la différence significative. On voit que dans l'ensemble les communautés des zones A et B sont similaires entre elles, mais qu'elles diffèrent un peu de celle de la zone C et un peu plus de celle de la zone D. Ces rapports sont les mêmes en 1997 et en 2001, quoiqu'en 2001 les sites des zones C et D se rapprochent de A et B. Donc, malgré le temps écoulé depuis les immersions des zones A et B, les communautés de ces dernières ne peuvent pas être considérées comme identiques à celle de la zone de référence D. Les différences fines entre zones sont abordées plus bas.

Sur le plan des descripteurs synthétiques (voir Anovas), les résultats varient. **L'abondance** change d'un site et d'une année à l'autre, ce qui n'est pas une surprise car cette mesure est hautement sensible aux conditions très locales, temporellement comme spatialement. On peut noter en particulier la forte augmentation d'abondance de la zone C de 1997 à 2001. **La richesse taxonomique** est significativement plus élevée dans les zones de référence (D) que sur les monticules, mais la variation entre 1997 et 2001 n'est pas significative, malgré une certaine augmentation dans les zones C et D. Peut-être faut-il voir dans cette dernière tendance un faible indice de l'évolution de la communauté de C, avec une influence sur la zone géographiquement voisine de D. **La diversité**, elle, change d'une année à l'autre. C'est particulièrement vrai pour les zones A (diminution) et C (augmentation). **La régularité**, enfin, change aussi d'une année à l'autre. Curieusement, on note une baisse marquée en C.

4.2. Différences entre zones

Si l'on s'attarde d'abord aux zones A, B C et D, échantillonnées en 1997 et 2001, les Figures 4 et 10 montrent que la zone de référence D est toujours bien différenciée des monticules, et que parmi ces derniers les différences sont moins importantes en 2001. Les prélèvements de la zone C y ont tendance à « rejoindre la cohorte » des zones A et B. Il est intéressant de voir que la zone D, qui est peut-être similaire à ce qu'étaient les communautés de A, B et C avant les immersions, ne peut pas être considérée comme le but de la trajectoire de reconstitution des communautés perturbées. L'écart entre D et les monticules ne diminue absolument pas en fonction de l'âge de la perturbation. Cela peut être dû à plusieurs facteurs. Tout d'abord, il n'y a pas de raison que des communautés perturbées retrouvent un état d'équilibre en tout point semblable à leur état antérieur après une perturbation, même si les conditions permettent un bon rétablissement des fonctions écologiques. Celles-ci peuvent être assurées par un cortège d'espèces en partie différent de celui qui peuplait la zone avant la perturbation.

Par ailleurs, les monticules issus des immersions ne se trouvent plus à la même profondeur que les sites originels, ce qui peut influencer la communauté indépendamment de tout contexte de perturbation. Cet effet est bien démontré à la figure 12, où la zone Z se démarque clairement des autres zones non perturbées. On a vu plus haut que cette différence est significativement expliquée par la profondeur, et même qu'il n'y a plus de différence significative lorsque l'effet de la profondeur est retiré (par régression).

Cependant, la figure 7 montre aussi que la zone Z, même située à la même profondeur que les monticules A, B et C, ne semble pas constituer l'attracteur d'une trajectoire de rétablissement de ces

derniers. Pour constituer un point de référence idéal, il aurait fallu que les prélèvements de Z se confondent plus ou moins avec ceux de la zone A et B, ce qui n'est pas le cas.

Toujours à la figure 7 et aussi à la figure 12, on voit aussi que la zone N, site de la prochaine immersion, semble assez hétérogène (le prélèvement N4 se démarque fortement des quatre autres). Il faudra évidemment surveiller le comportement de cette zone après l'immersion: les prélèvements qui y seront faits ressembleront-ils davantage à ceux de la zone C?

Sur le plan des descripteurs synthétiques, on a vu qu'en 1997 le nombre de répétitions était insuffisant pour assurer une puissance adéquate des Anovas, compte tenu de la grande dispersion des résultats. On a seulement pu montrer que l'abondance totale est significativement plus élevée dans la zone D que sur les monticules. Visuellement (Tableau I), on note que l'abondance est particulièrement basse dans la zone C, fraîchement perturbée, mais que la richesse spécifique et la diversité n'y sont pas très affectées. En 2001 la situation est plus complexe. L'abondance en C a fortement augmenté, au point d'être la plus élevée après celle de D. La richesse spécifique a progressé en C aussi, mais l'équilibre de la communauté n'est pas au niveau ce celui des autres, comme le montrent l'indice de Shannon, significativement plus bas que partout ailleurs, et la régularité, faible elle aussi. Il faut donc en conclure que la communauté du site C ne s'est pas encore rétablie complètement depuis l'immersion de 1997.

Enfin, rappelons que, sur le plan multivariable tout au moins, l'influence des autres variables explicatives potentielles (physico-chimiques: granulométrie, ions) est très faible comparé à celle du traitement et celle de la profondeur.

4.3. Hypothèses du plan de suivi

Pour se reporter aux questions posées dans le plan de suivi 2001/2002 (juin 2001) et le rapport de mission d'octobre 2001 (R. Chabot) (voir aussi Tableaux I et II):

1. **La moyenne** des abondances, diversité et régularité change significativement entre 1997 et 2001, mais pas celle de la richesse taxonomique. Les changements les plus marqués s'observent dans la zone C, avec une très forte augmentation de l'abondance et une diminution de la diversité et de la régularité. Sur le plan multivariable, les communautés sont différentes d'une année à l'autre dans toutes les zones. L'amplitude des différences est la même pour toutes les zones.

2. **L'ampleur de la différence** entre les moyennes des descripteurs synthétiques des monticules et de la référence (D) ne change pas de manière simple entre 1997 et 2001. Les Anovas montrent plus de différences significatives en 2001 qu'en 1997, puisque seules des différences d'abondances ont été détectées en 1997.

Si l'on examine (de façon purement descriptive) les valeurs de ces descripteurs en termes de pourcentages de la valeur observée en D (Tableau II), on voit par exemple que l'abondance a augmenté dans les trois zones A, B et C par rapport à celle de D. La différence est la plus spectaculaire en C, où l'abondance, qui représentait 14.5% de celle de D en 1997, a passé à 87.8% de celle de D en 2001. Pour l'abondance, l'amplitude de l'écart entre D et les monticules a donc diminué partout.

Ce n'est pas du tout le cas des autres descripteurs. La richesse taxonomique a baissé en A et B par rapport à celle de D, et est restée la même en C (71.9% de celle de D contre 72.7% en 1997). Pour la diversité de Shannon, l'écart a augmenté en A et C, et s'est un tout petit peu réduit en B. La régularité, qui était plus élevée en 1997 dans les trois monticules que dans la zone D (!), est devenue plus basse en C qu'en D en 2001, mais est restée la même (en termes relatifs) en A, et a même augmenté en B.

Sur le plan multivariable, on a vu plus haut que l'écart entre les monticules et la zone D est resté à peu près le même en 2001 qu'en 1997, mais que l'écart entre C d'une part et A et B d'autre part a diminué.

3. Lorsqu'il y a des différences significatives, les **moyennes** dans les trois **monticules** sont inférieures à celles observées dans les zones de **référence**. Une tendance inverse (quoique non significative) peut toutefois être observée pour l'abondance totale de C par rapport à N et Z en 2001.

4. Les résultats ci-dessus permettent d'affirmer que la zone N connaîtra des modifications suite au déversement de sédiments en 2002. La nature de ces changements reste toutefois hypothétique, puisqu'on ne dispose d'aucun "point zéro" pour les zones A, B et C. Les données analysées ici suggèrent qu'une communauté fonctionnelle s'installe très rapidement après un déversement, mais que cette communauté n'évolue pas vers un retour à sa structure originelle. Tant les analyses multivariables que les Anovas démontrent que toutes les communautés des monticules restent significativement différentes de celles des zones de référence, et pas uniquement en raison de la profondeur. En effet (voir Figure 7), la zone Z se différencie aussi nettement des zones A et B (immersions anciennes, mais profondeur identique) que des zones de référence D et N (pas d'immersions non plus, mais profondeur différente), mais pas de la même manière (d'autres espèces sont responsables des différences). L'hypothèse la plus conservatrice consiste à prédire que la zone N se comportera comme la zone C après 1997: baisse temporaire des descripteurs synthétiques (abondance totale, diversité, richesse spécifique), et rapprochement structurel avec la zone C; plus tard, reconstitution par adjonction d'espèces, peut-être aussi forte augmentation des populations de centaines espèces, et augmentation progressive de la ressemblance de N avec C, puis A et B (mais pas nécessairement Z).

5. Conclusion

Nos résultats démontrent deux points très importants:

1. Les zones qui ont subi une immersion ne retrouvent *jamais* une communauté identique à celle qu'elles hébergeaient avant la perturbation, du moins dans la fenêtre temporelle visible par les données (1982-2001). Cela ne les empêche toutefois pas de retrouver une communauté diversifiée et apparemment fonctionnelle.

2. Le temps nécessaire à une communauté pour retrouver des paramètres synthétiques stables est probablement *supérieur à 5 ans* (puisque la zone C est encore différence de B) mais *inférieur à 10 ans* (puisque A et B sont semblables). Cet état est cependant différent de celui des zones non perturbées.

Nos recommandations pour la suite du suivi sont les suivantes:

1. Prévoir un minimum de 5 sites par zone, afin de garantir une puissance adéquate des tests statistiques.

2. Conserver en priorité les zones C, N, D et Z, et au moins une des zones A ou B pour le suivi à plus long terme.

3. Réaliser un échantillonnage aussi tôt que possible après les immersions prévues en 2002, afin d'en mesurer l'impact sur la zone N et les zones avoisinantes.

4. A plus long terme, conserver un rythme de 5 ans maximum pour le suivi. En effet, contrairement à ce que nous pensions au départ, il semble que les communautés mettent plusieurs années pour retrouver une certaine stabilité.

Le respect de ces indications permettra un suivi assorti d'analyses statistiques appropriées à la problématique.

Il reste plusieurs aspects des données (et des questions) que le temps imparti aux présentes analyses ne m'a pas permis d'aborder.

1. Quelle est l'échelle spatiale de la variabilité générale des communautés? Cette question est très pertinente, dans la mesure où une réponse fournirait les moyens de déterminer jusqu'à quelle distance d'un site d'immersion on peut raisonnablement définir une zone de référence, et dans quel rayon on peut se permettre de faire des comparaisons entre zones comme celles du présent jeu de données. La structure spatiale des communautés peut être très révélatrice des processus qui y ont cours, et il existe des techniques poussées pour la mettre en évidence (voir p. ex. Borcard et al., 1992; Borcard & Legendre, 1994, 2002).

2. Le problème de l'effet de la profondeur n'a pas été exploré à fond. On pourrait encore réaliser des comparaisons entre les communautés des diverses zones en contrôlant pour l'effet de la profondeur (donc, réaliser des analyses de type ANCOVA), puisqu'il y a un risque que celle-ci ait un effet confondant sur certains aspects de la structure des communautés. Il y a cependant un problème, car on ne dispose pas dans le secteur D de sites qui ont subi une immersion tout en étant restés à la profondeur des zones de référence D et N.

3. La question de trouver des taxons indicateurs de diverses étapes d'évolution des communautés n'a pas pu être abordée. Il existe cependant des outils statistiques très performants pour cela (méthode IndVal de Dufrêne & Legendre , 1997, associée à des groupements).

4. La recherche actuelle en écologie numérique va dans le sens d'une formalisation des techniques d'analyse multivariable dans le sens des Anovas, avec tests appropriés aux données biologiques (permutations sous des modèles divers) et codage complexe des facteurs et interactions. Voir Legendre & Anderson (1999). De telles approches vont devenir la norme dans les années qui viennent, et sont idéalement appropriées à la problématique de la présente étude. Certaines pourraient déjà être appliquées aux données actuelles, mais avec certaines restrictions. Il est important, par exemple, de prévoir un plan d'Anova équilibré.

Daniel Borcard
Dr ès sciences
Consultant en statistique écologique
Chargé de cours à l'Université de Montréal
33, rue des Peupliers
St-Roch de l'Achigan, QC
J0K 3H0

Bibliographie

Borcard, D., P. Legendre & P. Drapeau. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. Ecology 73: 1045-1055.

Borcard, D. & P. Legendre. 1994. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). Environmental and Ecological Statistics 1: 37-61.

Borcard, D. & P. Legendre. 2002. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. Ecological Modelling 153: 51-68.

Casgrain, P. & P. Legendre. 2002. Le progiciel R d'analyse multidimensionnelle et spatiale. Version 4. Université de Montréal, département de sciences biologiques.

Dufrêne, M. & P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. Ecological Monographs 67: 345-366.

Legendre, P. et L. Legendre. 1998. Numerical Ecology. Second English Edition, Elsevier Science, Amsterdam.

Legendre, P. & M. J. Anderson. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. Ecological Monographs 69: 1-24.

Legendre, P. & E. D. Gallagher. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. Oecologia 129: 271-280.

ter Braak, C. J. F. 1988. CANOCO - an extension of DECORANA to analyse species-environment relationships. Vegetation 75: 159-160.

Brèves explications techniques

Analyse en composantes principales (ACP): normalement, cette méthode d'ordination est utilisée surtout pour des variables quantitatives autres que les abondances d'espèces. On peut maintenant analyser des abondances d'espèces par ACP à l'aide des transformations de Legendre et Gallagher (2001) citées plus bas.

Analyse de redondance (RDA pour *redundancy analysis*) : méthode d'ordination "canonique" ou "sous contrainte", dérivée de l'analyse en composantes principales (ACP), dont les axes sont contraints à être des combinaisons linéaires d'une ou plusieurs variables explicatives. L'analyse demande deux tableaux de données : un tableau "à expliquer" composé des objets (p. ex. sites) décrits par des variables "dépendantes" (p. ex. espèces) et un autre tableau composé des mêmes sites, mais décrits par une ou des variables explicatives quantitatives ou binaires. La RDA peut être vue comme une combinaison d'ordination et de régression multiple.

Abondances d'espèces transformées: dans le cas général, la RDA (et l'ACP) ne sont pas appropriées pour traiter des données d'abondances d'espèces, parce que ces méthodes impliquent qu'une espèce absente de deux sites en est absente pour la même raison. Cette position ne peut être justifiée pour toutes les espèces. Une espèce peut manquer dans un prélèvement parce qu'elle est rare, dans un autre parce que la température est trop basse, ou parce qu'elle est remplacée par une autre espèce, etc. Cependant, Legendre et Gallagher (2001) ont montré qu'on peut pré-transformer les données d'abondances d'espèces de manière à ce qu'une ACP ou une RDA appliquée à ces données ne présente plus cet inconvénient.

Tests par permutation: très souvent, pour toutes sortes de raisons, les données biologiques ne répondent pas aux exigences requises par les tests paramétriques (normalité, équivariance, indépendance des erreurs, etc.). De plus en plus, dans ces cas, on a recours aux tests par permutation, dans lesquels, au lieu de se référer à des tables construites sur des distributions théoriques, on bâtit ses propres distributions de référence en permutant aléatoirement les séries de données à tester et en recalculant la statistique-test. Cette manière de faire, lorsqu'elle est répétée un grand nombre de fois, fournit une distribution de la statistique-test sous l'hypothèse nulle. La décision statistique est prise en comparant la vraie valeur de la statistique-test avec celles obtenues par permutation.

Axe canonique: dans une ordination sous contrainte, on obtient deux types d'axes:

- des axes dits "canoniques", qui sont des combinaisons linéaires des variables explicatives décrivant le mieux possible des grandes tendances de variation des données; il y a autant d'axes canoniques que de variables explicatives;
- des axes résiduels (non canoniques) décrivant la part de variance des données qui ne peut pas être expliquée par les variables explicatives. Dans le cas d'une RDA, les axes résiduels analysent sous la forme d'une ACP la variance des données qui ne peut être expliquée par les variables explicatives.

Sélection progressive des variables explicatives: le programme Canoco d'ordination canonique permet de sélectionner les variables explicatives à faire entrer dans un modèle. La sélection se fait comme pour une régression pas à pas, mais uniquement de manière progressive: il n'y a pas de contrôle *a posteriori* et d'éventuelle élimination rétrograde. Le programme calcule d'abord la contribution de toutes les variables explicatives, une par une. On teste alors la meilleure de ces contributions par permutations. Si elle est significative, la variable en question est admise dans le modèle, et le programme mesure alors la contribution supplémentaire de toutes les variables explicatives restantes. La meilleure est à nouveau testée par permutations, et ainsi de suite tant qu'on trouve une variable dont la contribution supplémentaire est significative.

RDA partielle: comme en régression, on peut réaliser des ordinations canoniques partielles, c'est-à-dire contrôler les données pour une ou plusieurs sources d'influence (i.e., retirer l'effet de variables "indésirables", appelées covariables) et tester la variance résiduelle pour l'influence d'une ou plusieurs autre variables explicatives.

Tableau I: moyennes (gras) et écart-types (italique) des descripteurs synthétiques des zones et sites utilisés dans les analyses.

Année	Zone	Abond. totale	Densité (n/m2)	Rich. taxon. (S)	Diversité (H')	Régularité (J
1997	A	**366,6**	**1221,9**	**19,3**	**2,8102**	**0,6590**
		141,6	*472,1*	*1,5*	*0,2910*	*0,0790*
	B	**336,1**	**1120,4**	**16,3**	**2,4996**	**0,6234**
		234,8	*782,7*	*2,5*	*0,1469*	*0,0519*
	C	**144,0**	**480,0**	**16,0**	**2,6977**	**0,6792**
		60,9	*202,8*	*2,6*	*0,2119*	*0,0809*
	D	**994,5**	**3315,1**	**22,0**	**2,6149**	**0,5892**
		224,1	*747,0*	*4,2*	*0,4389*	*0,0859*
2001	A	**773,2**	**2577,2**	**17,0**	**2,3688**	**0,5868**
		473,1	*1577,0*	*3,7*	*0,1457*	*0,0717*
	B	**669,2**	**2230,7**	**17,8**	**2,4880**	**0,6002**
		243,0	*810,0*	*2,4*	*0,1664*	*0,0141*
	C	**1275,8**	**4252,7**	**20,0**	**2,0907**	**0,4943**
		202,7	*675,8*	*6,9*	*0,1066*	*0,0362*
	D	**1453,6**	**4845,3**	**27,8**	**2,5179**	**0,5261**
		389,9	*1299,8*	*2,4*	*0,1911*	*0,0489*
	N	**1116,2**	**3720,7**	**25,4**	**2,4888**	**0,5354**
		328,5	*1094,9*	*4,0*	*0,2565*	*0,0560*
	Z	**786,0**	**2620,0**	**23,3**	**2,7654**	**0,6123**
		215,2	*717,3*	*3,8*	*0,0888*	*0,0536*

Tableau II: différence entre les valeurs moyennes des descripteurs synthétiques des zones "monticules" et celles de la zone de référence D, exprimées en pourcentage de ces dernières. Par exemple, la valeur de 36.9% de l'abondance totale de A en 1997 signifie que la valeur moyenne d'abondance totale de la zone A en 1997 est égale au 36,9% de la valeur moyenne d'abondance totale de la zone D cette même année.

Année	Zone	Abond. totale	Densité (n/m2)	Rich. taxon. (S)	Diversité (H')	Régularité (J)
1997	A	36,9%	36,9%	87,7%	107,5%	111,8%
	B	33,8%	33,8%	74,1%	95,6%	105,8%
	C	14,5%	14,5%	72,7%	103,2%	115,3%
2001	A	53,2%	53,2%	61,2%	94,1%	111,5%
	B	46,0%	46,0%	64,0%	98,8%	114,1%
	C	87,8%	87,8%	71,9%	83,0%	94,0%

Tableau III: résumé des résultats des tests *a posteriori* sur l'Anova des données de 1997. Seule la variable "abondance totale" a donné des résultats significatifs et est montrée ici.

Tests *a posteriori*: Student-Newman-Keuls

Abondance totale

	Zone B	Zone C	Zone D
Zone A			D > A
Zone B			D > B
Zone C			D > C

Tableau IV: résumé des résultats des tests *a posteriori* sur l'Anova des données de 2001.

Student-Newman-Keuls

Abondance totale

	Zone B	Zone C	Zone D	Zone N	Zone Z
Zone A			D > A		
Zone B			D > B		
Zone C					
Zone D					D > Z
Zone N					

Richesse spécifique

	Zone B	Zone C	Zone D	Zone N	Zone Z
Zone A			D > A		
Zone B			D > B		
Zone C					
Zone D					
Zone N					

Diversité

	Zone B	Zone C	Zone D	Zone N	Zone Z
Zone A		A > C			Z > A
Zone B		B > C			
Zone C			D > C	N > C	Z > C
Zone D					
Zone N					

Régularité

	Zone B	Zone C	Zone D	Zone N	Zone Z
Zone A		A > C			
Zone B		B > C			
Zone C					Z > C
Zone D					
Zone N					

Tableau V: codes utilisés dans les figures d'analyses.

Code	Taxon	Code	Taxon
Akan gra	**Akanthophoreus gracilis**	Myti edu	Mytilus edulis
Ammo dub	Ammodytes dubius	Nass tri	Nassarius trivittatus
Ampe vad	Ampelisca vadorum	NEME	NEMERTEA
Amph	Ampharetidae-Maldanidae	Neph buc	Nephtys bucera
Amph fin	Ampharete finmarchica	Nucu del	Nucula delphinodonta
Arct /Me	Arctica / Mercenaria	Oedi	Oedicerotidae
Arct isl	Arctica islandica	Ophi acu	Ophiopholis aculeata
Aric cal	Aricidea (Acesta) caltherinae	Orch pin	Orchomenella pinguis
Aric sue	Aricidea (Allia) suecica	Oxyu smi	Oxyurostylis smithi
Biva	Bivalvia	Pagu aca	Pagurus acadianus
Canc irr	Cancer irroratus	Pand gou	Pandora gouldiana
Capi	Capitellidae	Para cro	Parathalestris croni
Capi cap	Capitella capitata	Para ful	Paraonis fulgens
Capu ung	Capulus ungaricus ?	Paro cae	Parougia caeca
Chir tuf	Chiridotea tuftsi	Pect gra	Pectinaria granulata
Ciro pol	Cirolana polita	Pect hyp	Pectinaria hyperborea
Cirr	Cirratulidae	Pher aff	Pherusa affinis
Clin cil	Clinocardium ciliatum	Phol min	Pholoë minuta/longa
Clym tor	Clymelella torquata	Phol tec	Pholoë tecta
Cran sep	Crangon septemspinosa	Phot ten	Photis tenuicornis
Cyat car	Cyathura carinata ?	Phox hol	Phoxocephalus holbolli
Dias	Diastylidae	Phyl muc	Phyllodoce mucosa
Dias pol	Diastylis polita	Pold sp	Polydora sp
Dorv	Dorvilleidae	Polg sp	Polygordius sp
Dyop mon	Dyopedos cf monacanthus	Poly	Polycladida
Edot tri	Edotia triloba	Poly exi	Polycirrus c.f eximius
Ensi dir	Ensis directus	Psam nob	Psammonyx nobilis
Ente	Enteropneusta	Pseu min	Pseudoleptocuma minor
Eteo fla	Eteone flava	Retu obt	Retusa obtusa
Eusp her	Euspira heros	Scol fra	Scoletoma fragilis
Exog heb	Exogone hebes	Scol sp	Scoletoma sp
Gast	Gastropoda	Scol squ	Scolelepis (Scolelepis) squamata
Glyc dib	Glycera dibranchiata	Scol tet	Scoletoma tetraura
Hipp ser	Hippomedon serratus	Spio bom	Spiophanes bombyx
Holo Sp.	Holothuroidea Sp. A	Spio set	Spio setosa
Lamp qua	Lamprops quadriplicata	Spis sol	Spisula solidissima
Leit acu	Leitoscoloplos acutus	Sthe lim	Sthenelais limicola
Leit fra	Leitoscoloplos fragilis	Stro dro	Strongylocentrotus droebachiensis
Leit sp.	Leitoscoloplos sp.	Tell agi	Tellina agilis
Mald	Maldanidae	Thar acu	Tharyx acutus
Merc mer	Mercenaria mercenaria	Turb int	Turbonilla interrupta
Mono edw	Monoculodes edwarsi	Unci irr	Unciola irrorata
Mono sp	Monoculodes sp		

Figure 1: Analyse de redondance, données d'abondances d'espèces transformées, contrainte: années 1997 + 2001. Plan 1x2, sites

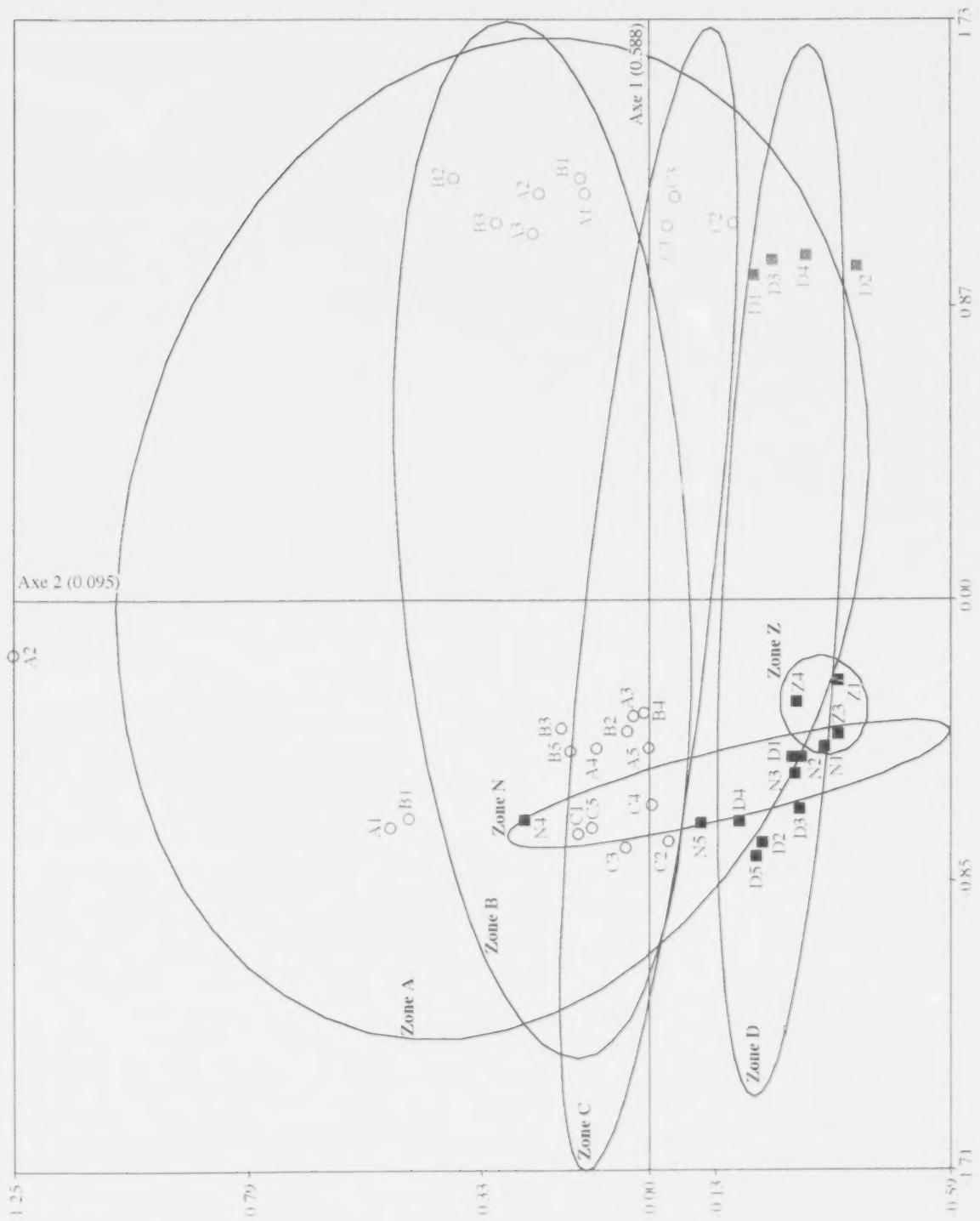


Figure 2: RDA des récoltes de 1997 et 2001, représentation des vecteurs-taxons. Les vecteurs plus longs contribuent le plus à la formation des deux axes. Les taxons qui ne sont présents que dans un ou deux prélèvements ne sont représentés que par la pointe des flèches, sous forme de cercles rouges

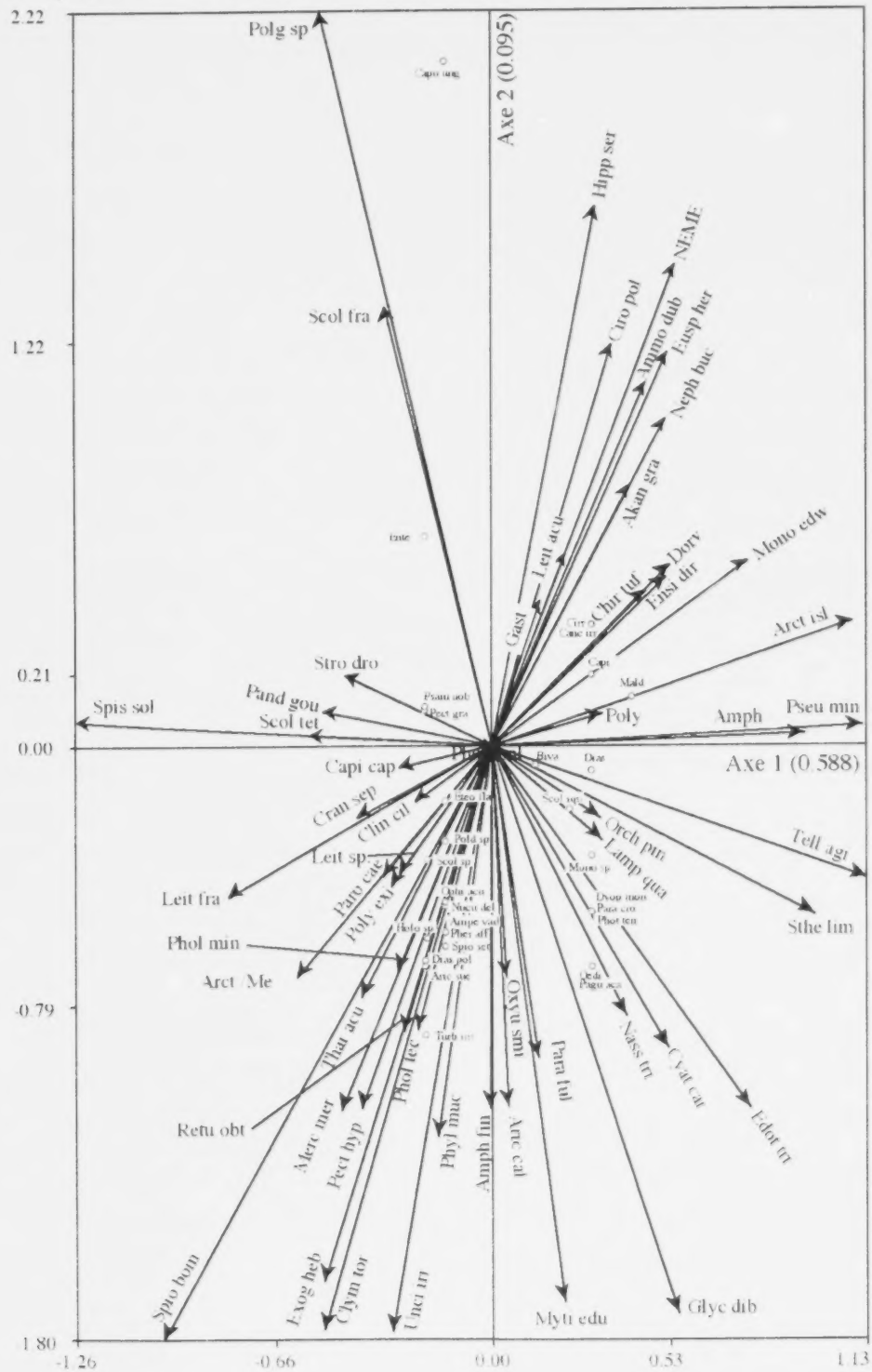


Figure 3: Plan 1x2 de l'ACP des données de 1997 et 2001 transformées. Représentation des sites. Ellipses: enveloppes contenant 95% des objets de la catégorie considérée. Conleur rouge: année 1997; couleur verte: année 2001. Cercles vides: monticules; carrés pleins: références. Comparer avec la Figure 1 (RDA).

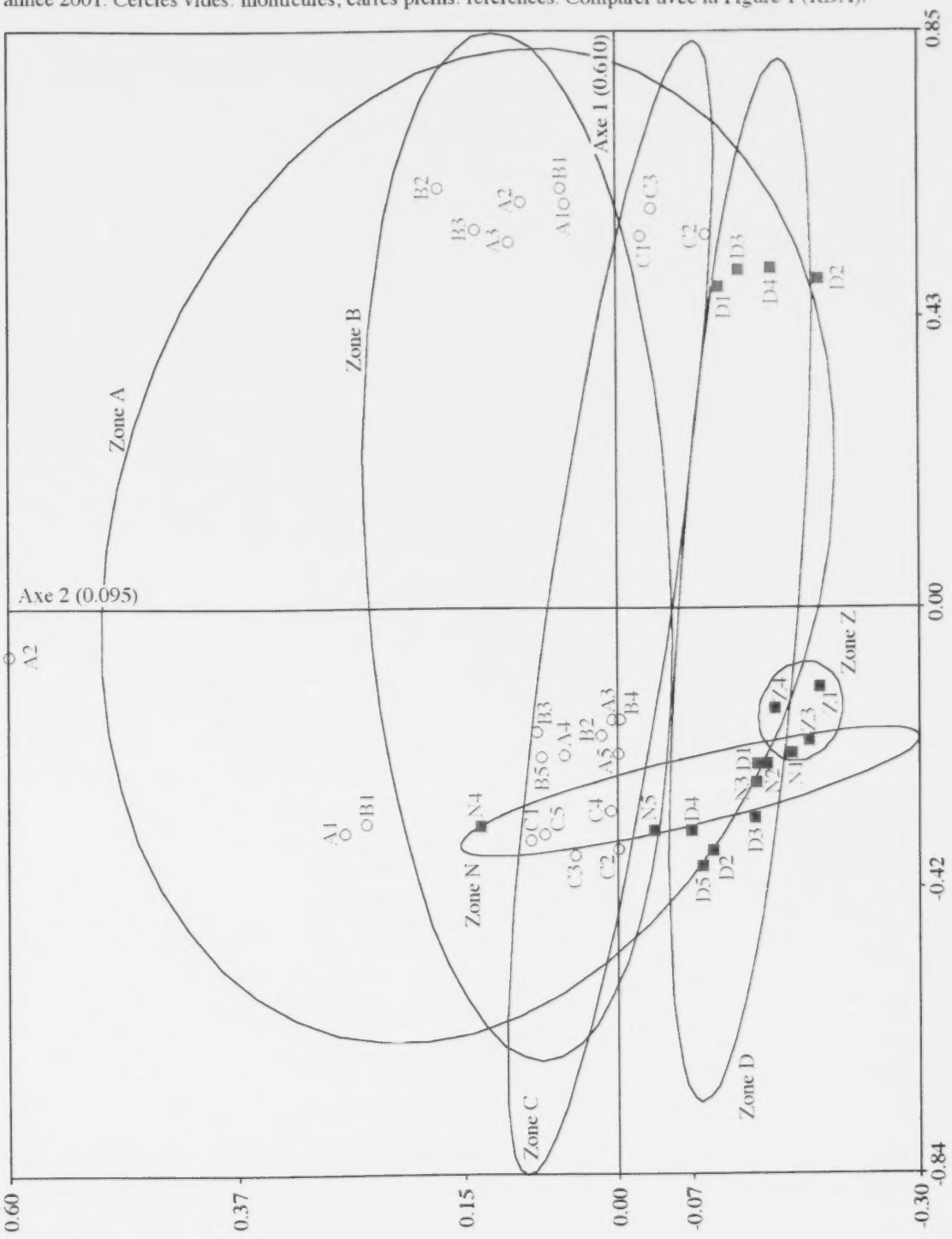


Figure 4: plan 1x2 de la RDA des prélèvements de 1997. Seule variable de contrainte: date de la dernière immersion de sédiments. Date arbitraire pour la zone D: 1900. L'axe 1 est donc un axe contraint (canonique) de RDA, l'axe 2 est un axe d'ACP montrant la part prédominante de variation non expliquée par la contrainte.

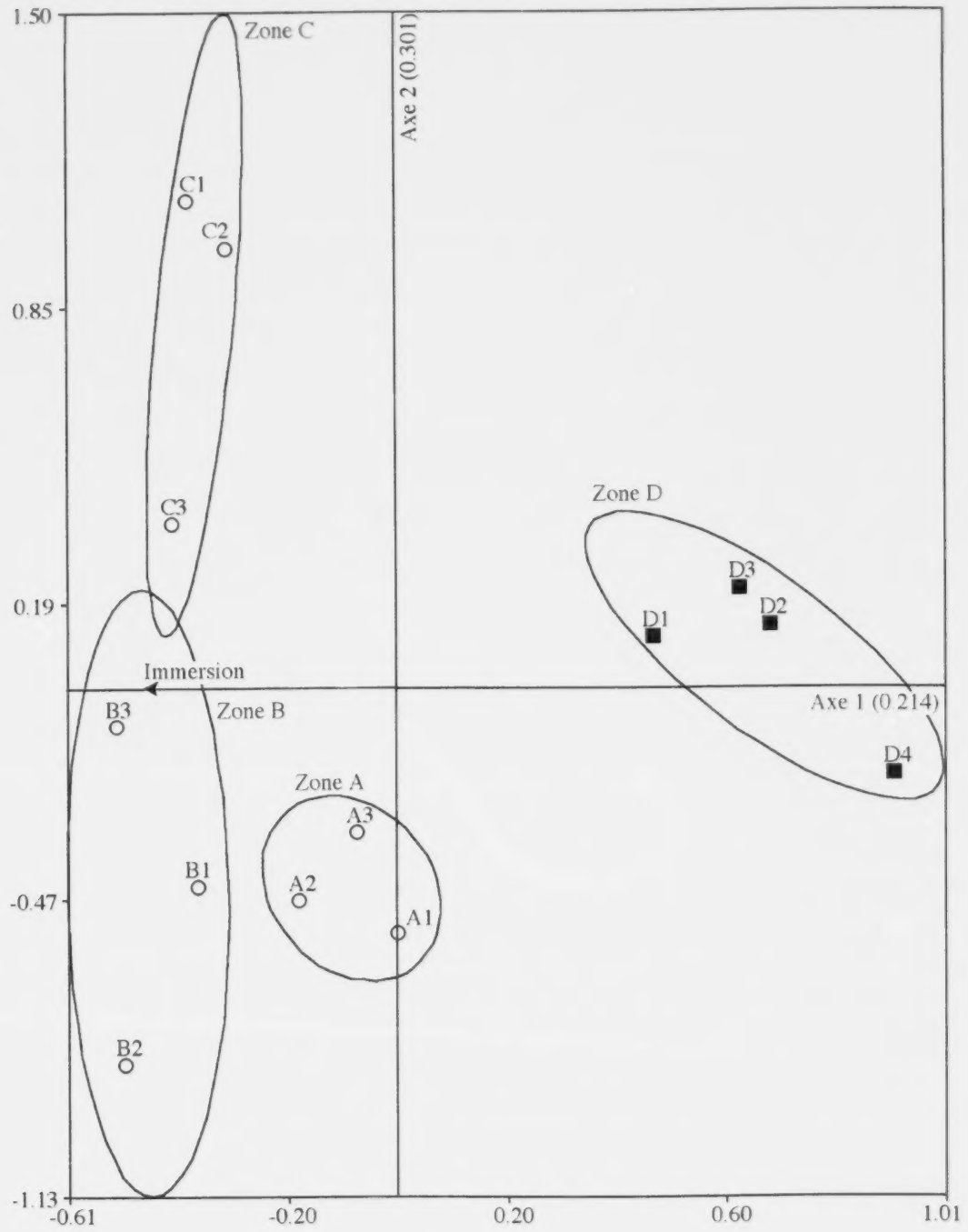


Figure 5: vecteurs-espèces de l'ordination représentée en Figure 4. Les espèces dont les vecteurs pointent dans la même direction que les nuages de sites de la figure 4 sont plus abondants dans ces sites lorsqu'ils sont longs.

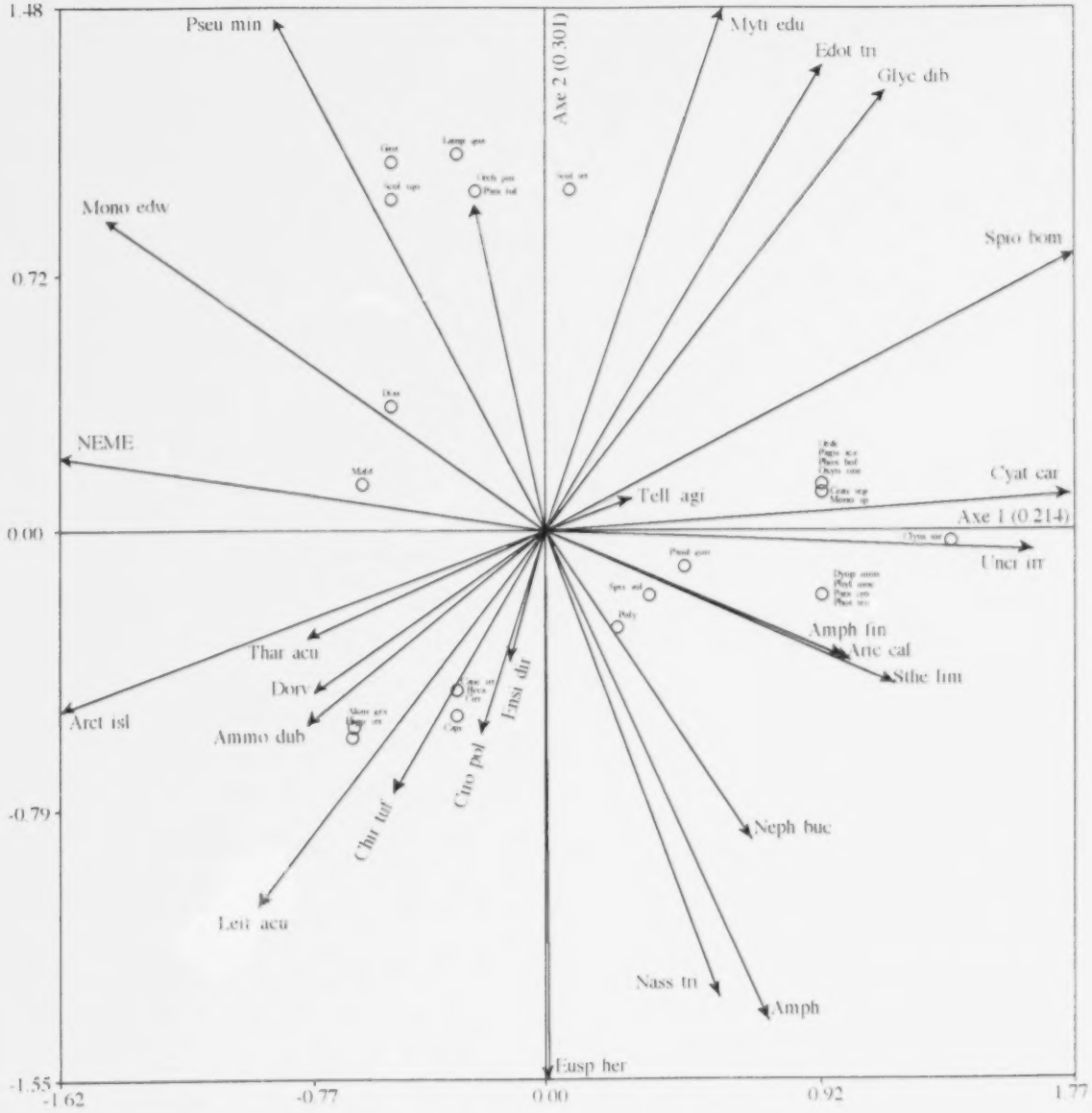


Figure 6: ACP des données de 1997, abondances transformées. Représentation des objets. Cercles vides: monticules. Carrés pleins: références. Ellipses: enveloppes des 95% des objets de la catégorie considérée. Comparer avec la Figure 4.

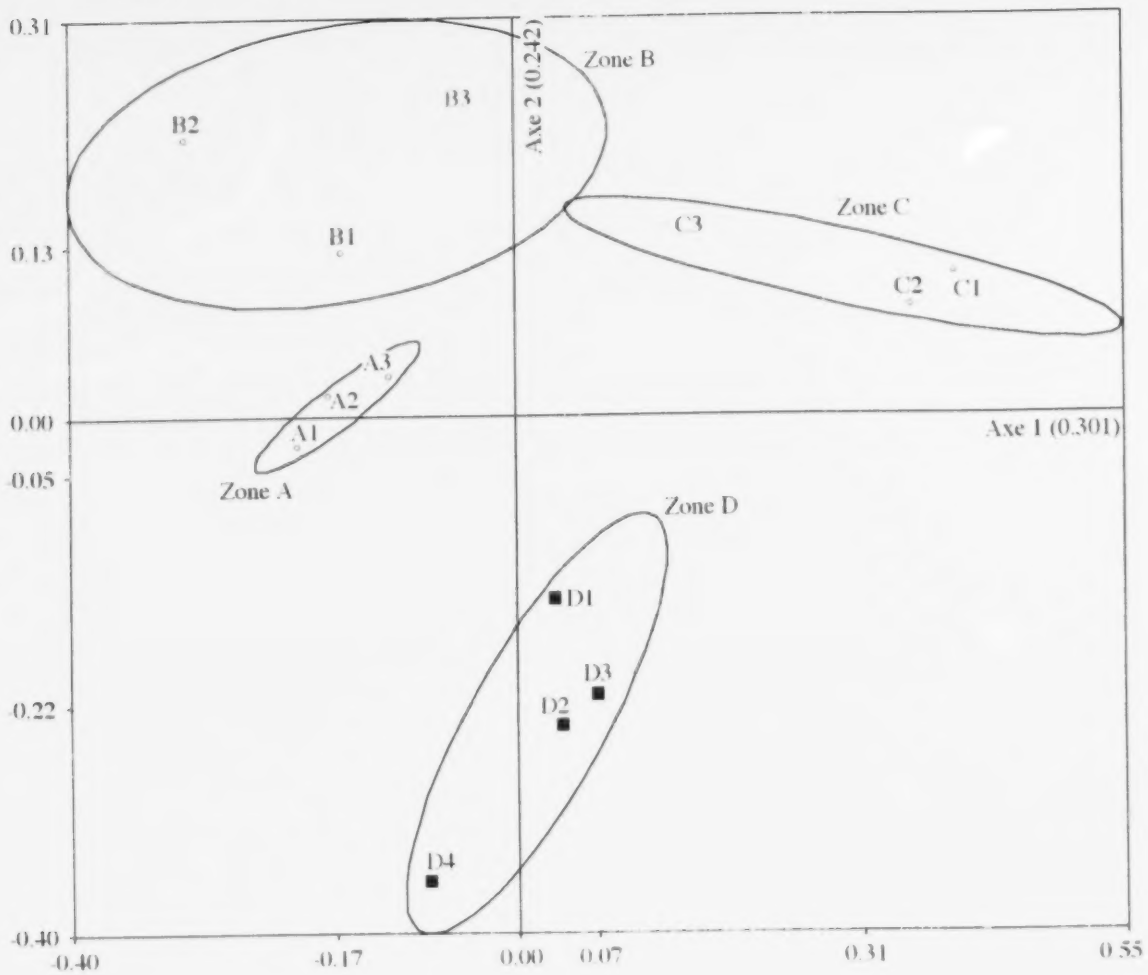


Figure 7: Plan 1x2 de la RDA des prélèvements de 2001 (sans A2), contrainte par l'immersion et la profondeur. Représentation des prélèvements et des variables explicatives (flèches). Les ellipses sont des enveloppes de 95% des objets des groupes considérés. Sites de référence: carrés noirs. Sites de monticules: cercles blancs.

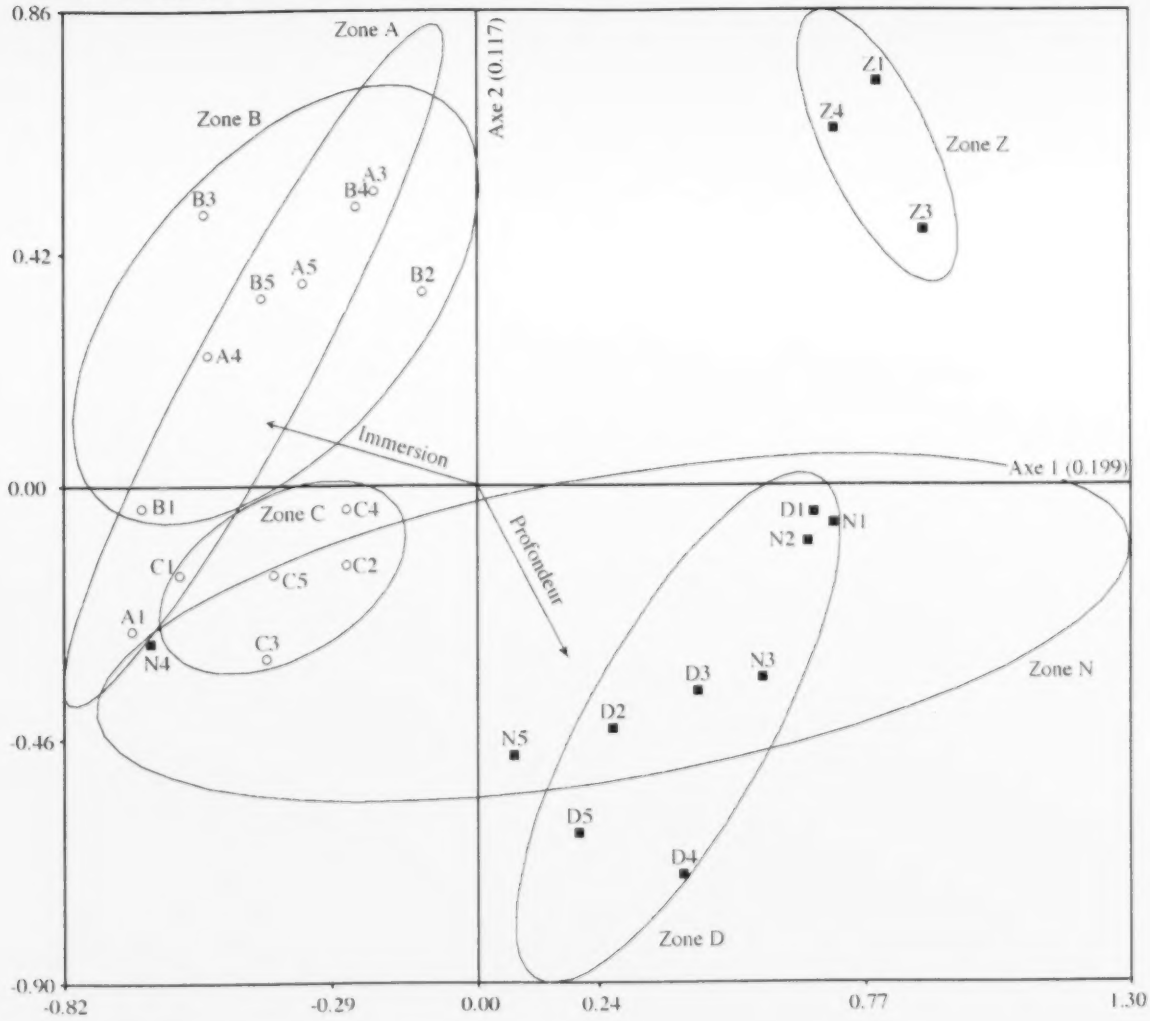


Figure 8: Plan 1x2 de la RDA des prélèvements de 2001 (sans A2) contrainte par l'immersion et la profondeur. Représentation des vecteurs-espèces. Les angles entre les vecteurs représentent des corrélations. Les vecteurs les plus longs ont le plus d'importance sur ce plan.

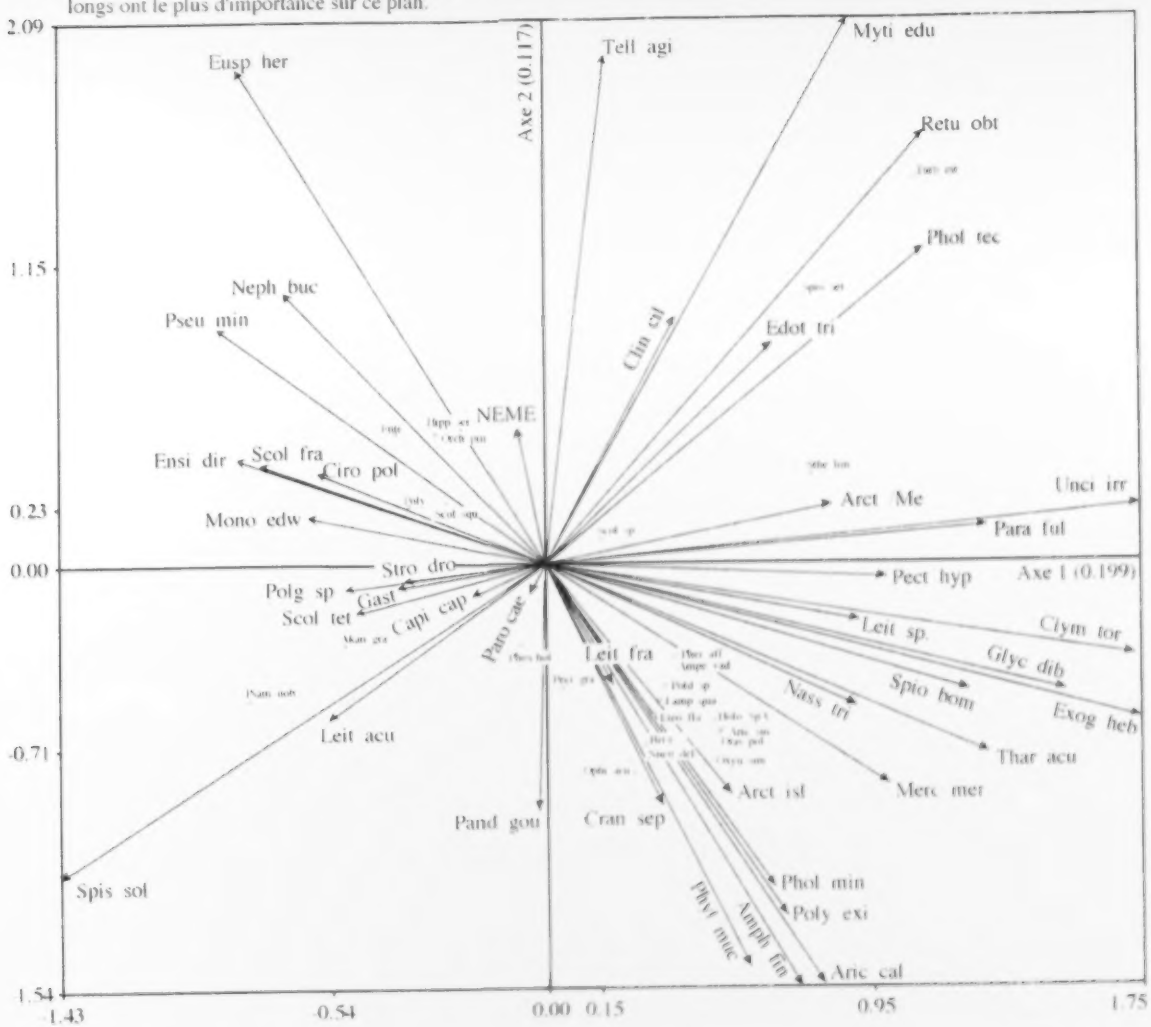


Figure 9: plan 1x2 d'une ACP des prélèvements de 2001 (sans A2). Représentation des objets. Référence: carrés noirs. Monticules: cercles blancs.

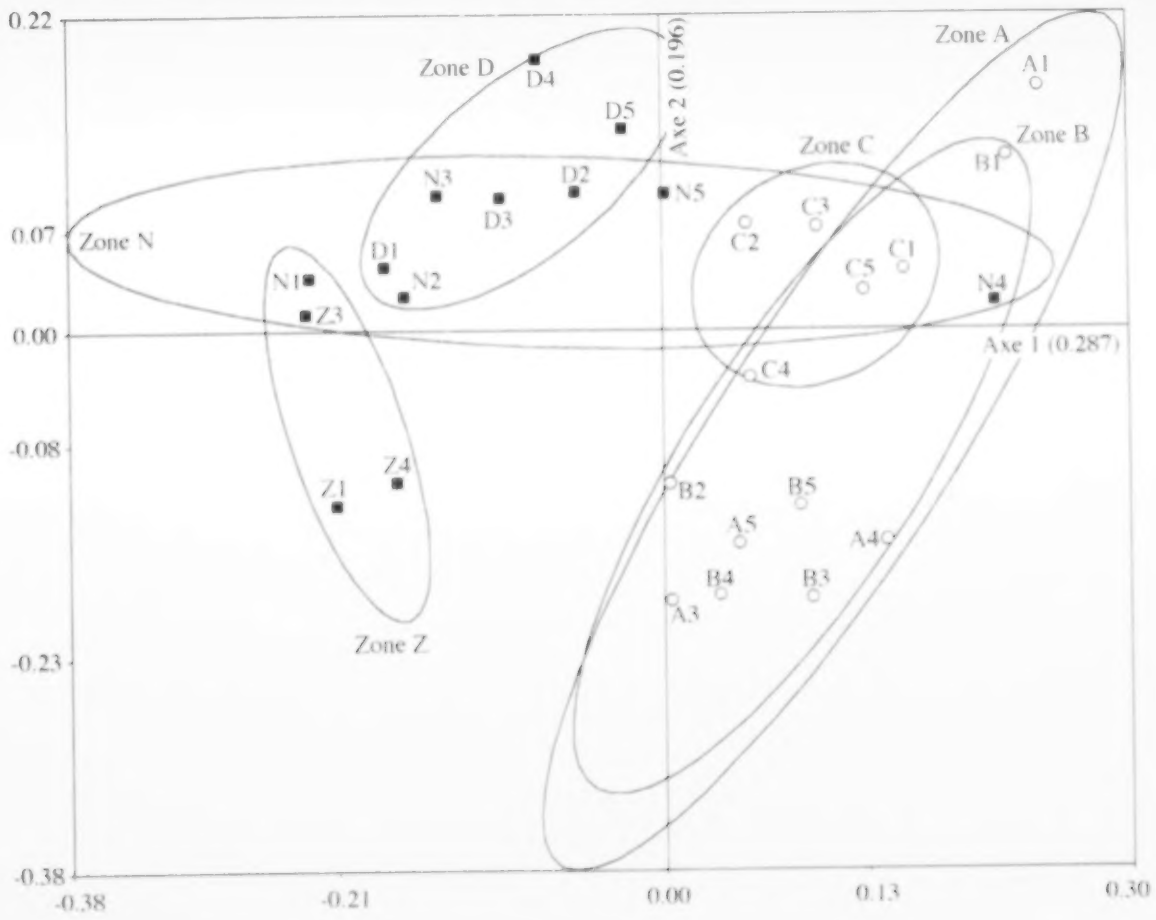


Figure 10: plan 1x2 d'une RDA des zones A, B, C et D, 2001 (contrainte: année d'immersion), pour comparaison avec 1997 (voir figure 4).

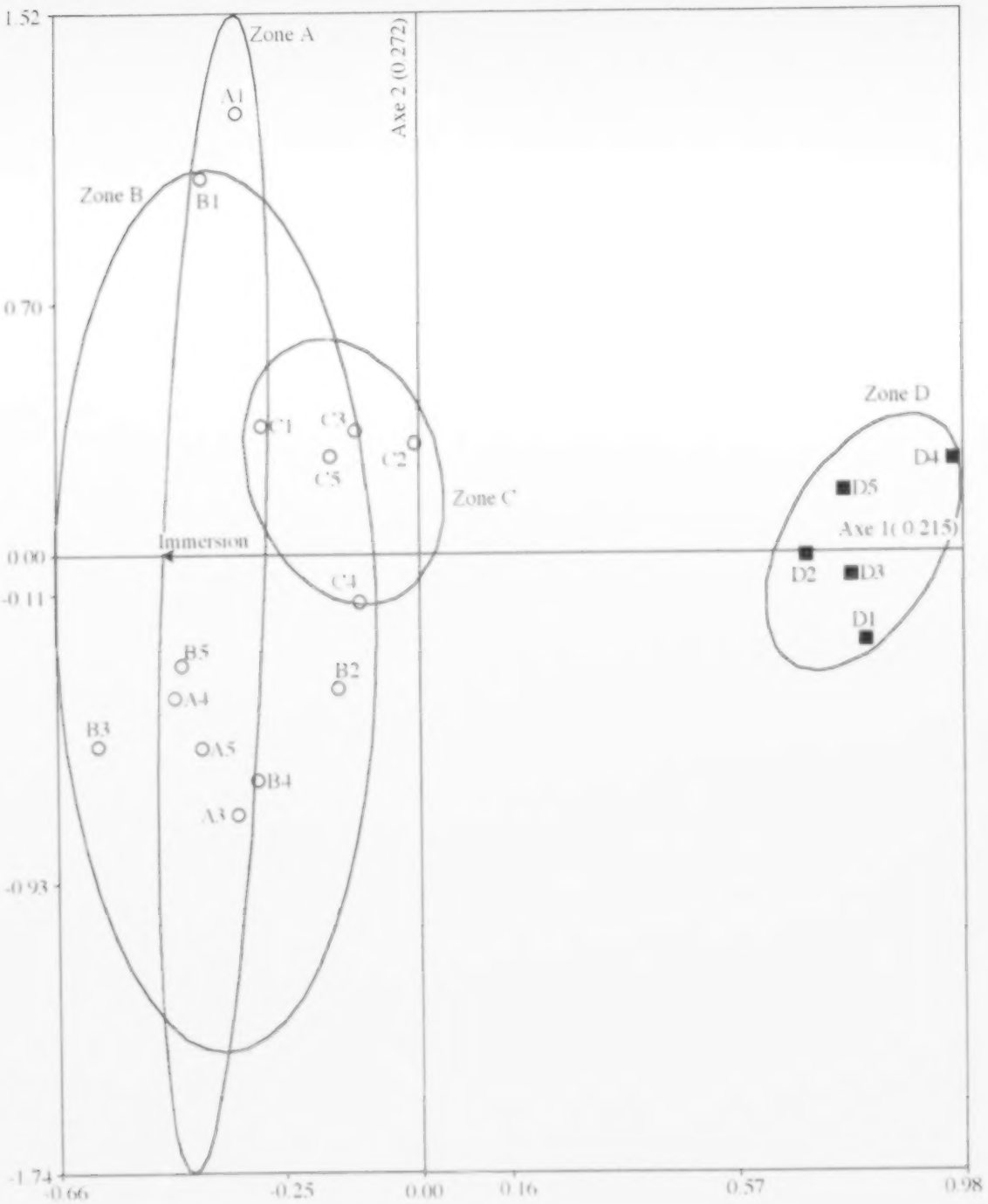


Figure 11: plan 1x2 d'une RDA des zones A, B, C et D, 2001 (contrainte: année d'immersion), pour comparaison avec 1997 (voir figure 5).

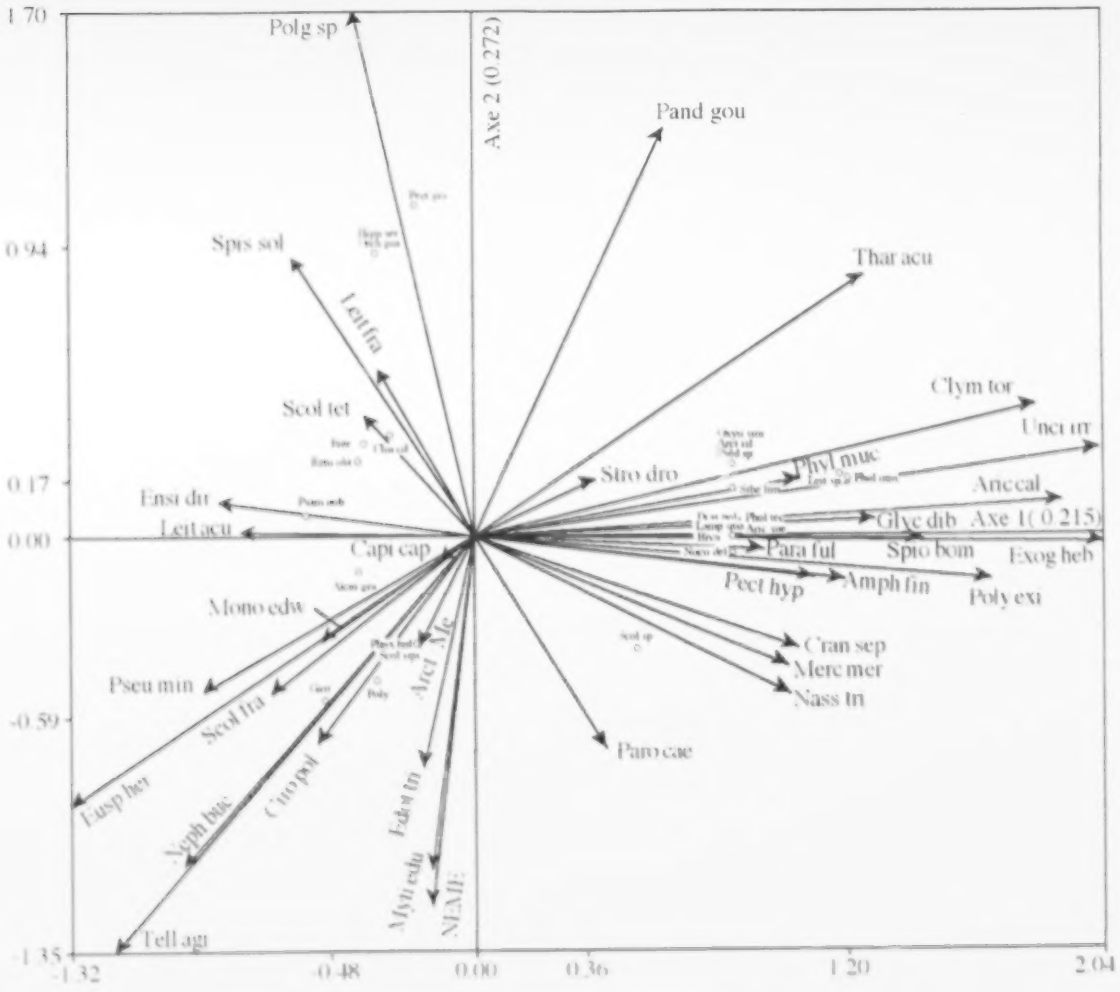


Figure 12: plan 1x2 de la RDA des trois zones de référence de 2001, contrainte par la variable quantitative "profondeur". Représentation des sites

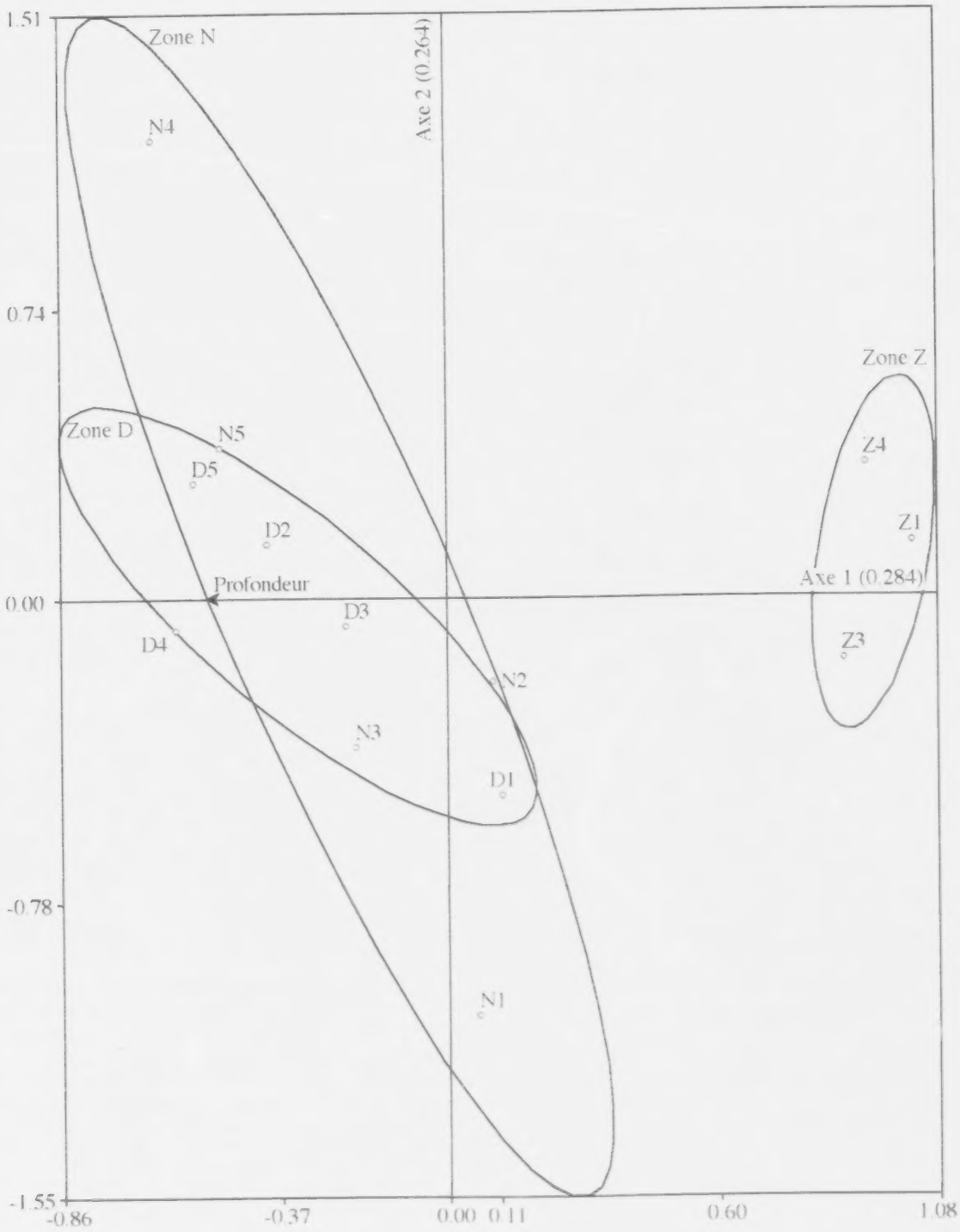
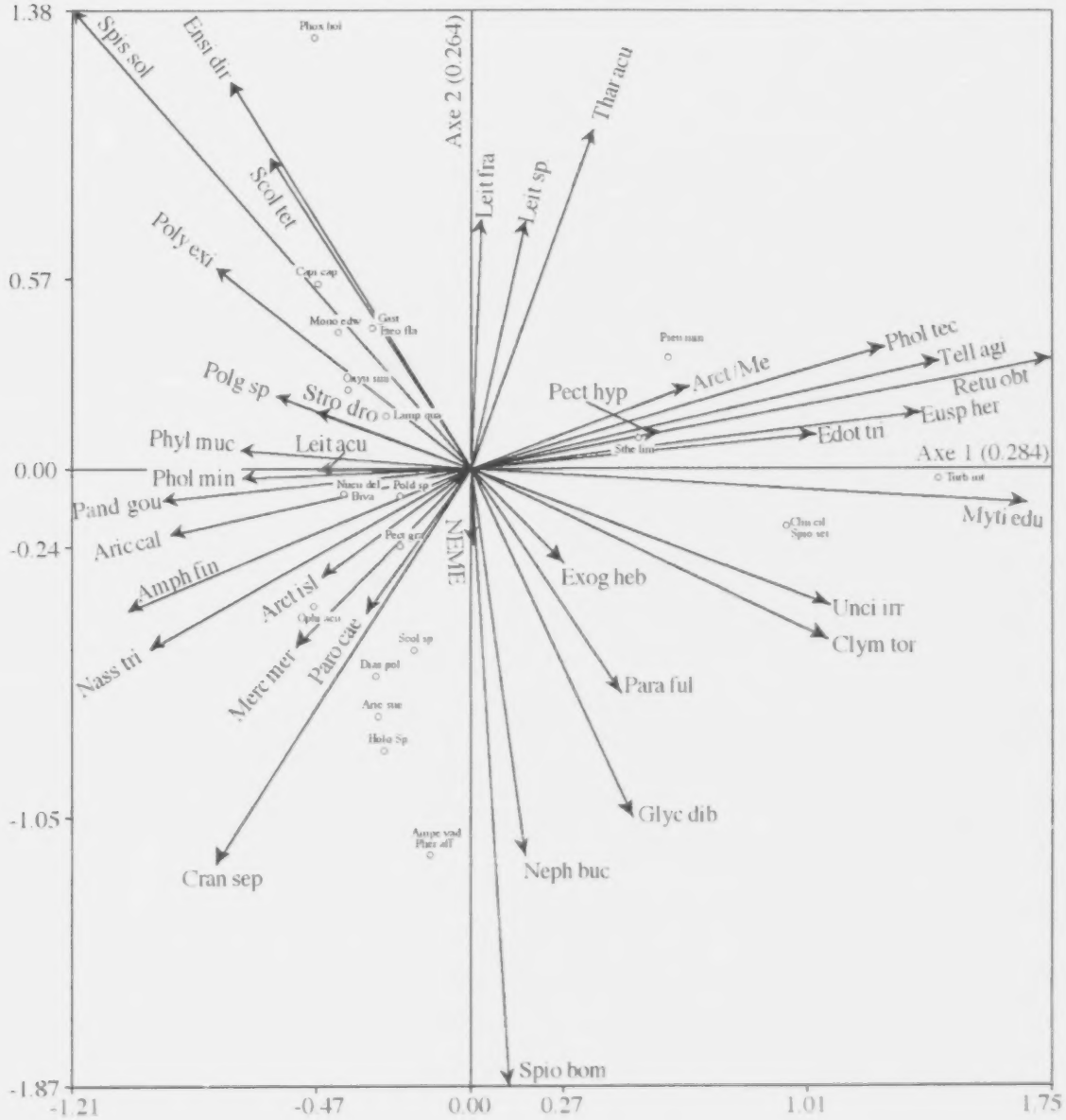


Figure 13: plan 1x2 de la RDA des trois zones de référence de 2001, contrainte par la variable quantitative "profondeur". Représentation des espèces.



Annexe F Tableau ANOVA pour les données physicochimiques

Tableau F-1 ANOVA pour les données physicochimiques

	SS	DDL	MS	F	P
Profondeur entre les zones	46,468	5	9,294	67,552	0
Proportion de sables fins entre les zones	895,5	5	179,1	10,028	0
Teneur Azote ammoniacal (transformée en log) entre les zones	7,876	5	1,575	5,985	0,001
Teneur en sulfures (transformée en log) entre les zones	13,266	5	2,653	3,818	0,012

Annexe G Données sur le benthos

Tableau G-1 Abondance des organismes benthiques récoltés à différentes stations dans le secteur du dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine en octobre 2001. Les taxons planctoniques, les poissons, les nématodes, les foraminifères et les morceaux ont été enlevés de la matrice.

	STATION														
TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
Polycladida								1							
NEMERTEA	2	78	33	4	4	8	15	11	6	12	6	7	6	17	16
Bivalvia (sans valve)															
Arctica islandica															
Arctica / Mercenaria	4		3		1		2							8	2
Clinocardium ciliatum	1			1											
Spisula solidissima	682	149	179,667	328	184	483	231	221	208	210	615	619	598	576	905
Mytilus edulis			6	4	2	9	6	2	7	4		8		8	8
Nucula delphinodonta															
Pandora gouldiana	32			1		10			2		18		8		
Ensis directus	1			1		2	1		2	1	1				1
Tellina agilis	237	111	130	183	135	189	156	145	147	142	287	255	219	256	355
Mercenaria mercenaria					1										
Gastropode sans coquille		1							1					1	
Capulus ungaricus ?		1													
Nassarius trivittatus	37	5	11	42	7	32	53	10	31	20	7	8	1	30	50
Euspira heros	11	12	8	11	7	9	10	8	16	9	12	2	6	6	3
Turbonilla interrupta															
Retusa obtusa															2
Ampharete finmarchica				1						1				2	
Capitella capitata							2								2
Tharyx acutus	6					3			2				6		6
Parougia caeca					2				2					1	
Pherusa affinis															
Glycera dibranchiata	23	4	10	15	3	15	5	3	10	3	3	13	18	15	14
Scoletoma sp							1								
Scoletoma fragilis		2		1					1			1		1	
Scoletoma tetraura	4		3	5	2	11			2	2	4	24		5	2

	STATION														
TAXON	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
Clymelella torquata	4													4	5
Nephtys bucera	85	85	46	47	37	58	47	79	70	44	36	31	50	44	48
Leitoscoloplos sp.															
Leitoscoloplos acutus					2					1			20	4	5
Leitoscoloplos fragilis				2		2	1			1	4	2	2	1	13
Aricidea (Acesta) caltherinae															1
Aricidea (Allia) suecica															
Paraonis fulgens							2								
Pectinaria granulata	1														
Pectinaria hyperborea														1	
Pholoë tecta															
Pholoë minuta/longa															
Eteone flava															
Phyllodoce mucosa														1	1
Phyllodoce c.f. mucosa														1	2
Sthenelais limicola															
Polydora sp															
Scolelepis (Scolelepis) squamata				1											
Spiophanes bombyx	108	8	64	30	58	98	88	49	57	55	164	292	208	145	147
Spio setosa															
Exogone hebes															
Polycirrus c.f eximius															
Polygordius sp	224	343				160	6	1		4	15	20	10	3	25
Ampelisca vadorum															
Unciola irrorata	1														
Hippomedon serratus		1				1									
Orchomenella pinguis						1									
Psammonyx nobilis														1	1
Monoculodes edwarsi		2					1		1			1	1	1	
Phoxocephalus holbolli				1											
Lampros quadriplicata															
Diastylis polita															

	STATION														
TAXON	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
Oxyurostilis smithi															
Pseudoleptocuma minor	1	2	3		1		2	2			1	5		2	1
Cancer irroratus									1						
Crangon septemspinosa		1					1	1						1	
Cirolana polita		2	1							1				1	
Eudia triloba				1			3	1	5				1	1	4
Ostracoda															
Akanthophoreus c.f. gracilis														1	
Echinarachnius parma	7		4	10	2	10	17	9	10	2	7	8	8	20	15
Strongylocentrotus droebachiensis				4		4			2	1	1				2
Sp. A															
Ophiopholis aculeata															
Enteropneusta				1		1									
TOTAL	1473	807	500,667	694	448	1106	650	543	583	513	1181	1296	1164	1158	1638
Richesse taxinomique (S) **	20	17	14	22	16	20	21	15	21	18	16	16	16	30	27
Densité (n/m2)*	4910	2690	1668,89	2313,33	1493,33	3686,67	2166,67	1810	1943,33333	1710	3936,6667	4320	3880	3860	5460
Indice de diversité (H')	2,46114	2,420225	2,61873	2,35106	2,25763	2,60019	2,74122	2,34502	2,73047826	2,421552	2,012458	2,102278	2,107339	2,342542	2,1668187
Indice de régularité (J)	0,56945	0,5804	0,67028	0,52721	0,56441	0,59199	0,6147	0,58625	0,62164868	0,580718	0,492349	0,52557	0,526835	0,477398	0,4557035

* TOTAL/0,3 : où 0,3 est la surface échantillonnée
** nombre de taxons

Tableau G-1 (suite) Abondance des organismes benthiques récoltés à différentes stations dans le secteur du dépôt D aux Îles-de-la-Madeleine en octobre 2001. Les taxons planctoniques, les poissons, les nématodes, les foraminifères et les morceaux ont été enlevés de la matrice.

	STATION												
TAXON	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Polycladida													
NEMERTEA	12	12	16	24	10	8	12	13	9	16	9	7	7
Bivalvia (sans valve)			8										
Arctica islandica				9			1	1					
Arctica / Mercenaria	8					4	4		8	24	1	12	4
Clinocardium ciliatum												5	
Spisula solidissima	322	590	857	569	678	216	253	326	655	762	164	236	178
Mytilus edulis	8	8	8		8	4	8				43	30	24
Nucula delphinodonta			24										
Pandora gouldiana	5	2	13	9	9	6		3	8		2		
Ensis directus			1						1	1			
Tellina agilis	267	186	450	195	188	163	187	224	266	316	236	303	200
Mercenaria mercenaria	2		1		1	1	1	2	1		1		
Gastropode sans coquille										1			
Capulus ungaricus ?													
Nassarius trivittatus	55	71	95	91	56	45	52	64	31	75	24	14	29
Euspira heros	2	4	2	5		3	1	3	4	3	5	5	6
Turbonilla interrupta											1	2	
Retusa obtusa											4	2	6
Ampharete finmarchica		2	3	4	3	12	12	1	3	7			
Capitella capitata					1					2			
Tharyx acutus	12	5	7	11	6		4	6	7	19	7	4	6
Parougia caeca	8			1						1			
Pherusa affinis						1							
Glycera dibranchiata	25	25	35	32	27	26	24	27	14	32	20	18	16
Scoletoma sp	4												
Scoletoma fragilis													
Scoletoma tetraura		6	4	5	2			3	7	17		6	

TAXON	STATION												
	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Clymelella torquata	4	14	27	15	13	4	8	5		3	7	19	11
Nephtys bucera	78	38	54	28	25	108	27	29	37	42	24	29	27
Leitoscoloplos sp.		1		3					4			4	
Leitoscoloplos acutus						4			1	11			
Leitoscoloplos fragilis		3	3	3		3	1	1	6	8	1	1	2
Aricidea (Acesta) caltherinae	12	1	7	16	10			2		6			
Aricidea (Allia) suecica		5				4							
Paraonis fulgens			2	4	1	4		2		5	3	4	
Pectinaria granulata							1						
Pectinaria hyperborea	1		1		1					2	1	1	
Pholoë tecta		1									4		1
Pholoë minuta/longa		1		2				1		1			
Eteone flava										1			
Phyllodoce mucosa		1	2		2		1	2		3	1		
Phyllodoce c.f. mucosa			2	1				1					
Sthenelais limicola					1							1	
Polydora sp				1									
Scolelepis (Scolelepis) squamata													
Spiophanes bombyx	328	260	495	345	228	374	173	276	52	280	124	306	95
Spio setosa												1	
Exogone hebes	8	7	5	2	5		4	2		2	1	4	2
Polycirrus c.f eximius	4	1	1		1				3				
Polygordius sp	9	2	3	16	3	4	2	4	14	11		10	1
Ampelisca vadorum						1							
Unciola irrorata	5	2	5	2	4	1	4	4			1	7	13
Hippomedon serratus													
Orchomenella pinguis													
Psammonyx nobilis													
Monoculodes edwarsi		1								1			
Phoxocephalus holbolli									1				
Lampros quadriplicata		1											
Diastylis polita		2				1							

	STATION												
TAXON	D1	D2	D3	D4	D5	N1	N2	N3	N4	N5	Z1	Z3	Z4
Oxyurostilis smithi				1						1			
Pseudoleptocuma minor					1						1		
Cancer irroratus													
Crangon septemspinosa	2		1	3	2	3		1					
Cirolana polita													
Edotia triloba	1		4	2		2		2	1	4	1	2	11
Ostracoda									4				
Akanthophoreus c.f. gracilis													
Echinarachnius parma	19	5	18	16	17	11	4	15	26	15	18	37	27
Strongylocentrotus droebachiensis		4		7	2								
Sp. A						2				1			
Ophiopholis aculeata								1					
Enteropneusta													
TOTAL	1201	1261	2154	1422	1305	1015	784	1021	1163	1673	704	1070	666
Richesse taxinomique (S) **	25	30	31	30	28	27	22	28	24	32	26	27	20
Densité (n/m2)*	4003,3333	4203,333	7180	4740	4350	3383,333	2613,333	3403,333	3876,667	5576,667	2346,667	3566,6667	2220
Indice de diversité (H')	2,8296136	2,455774	2,513951	2,72174	2,34851	2,732922	2,691189	2,612964	2,181157	2,574967	2,859482	2,8045845	2,986486
Indice de régularité (J)	0,6093241	0,500475	0,507439	0,55468	0,488524	0,574761	0,603483	0,543535	0,47572	0,514993	0,608344	0,589832	0,691008

* TOTAL/0,3 : où 0,3 est la surface échantillonnée
** nombre de taxons